



RELAÇÕES EMPÍRICAS PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE ANCORAGENS

Lays Cristina Barcelos de Souza D’Hyppolito

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Rio de Janeiro
Setembro de 2017

RELAÇÕES EMPÍRICAS PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA
AO ARRANCAMENTO DE ANCORAGENS

Lays Cristina Barcelos de Souza D’Hyppolito

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. Anna Laura Lopes da Silva Nunes, Ph.D.

Prof. Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão, Ph.D.

Prof. André Pereira Lima, D.Sc.

Prof. Fernando Artur Brasil Danziger, D.Sc.

Prof. Marcus Peigas Pacheco, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO DE 2017

D'Hyppolito, Lays Cristina Barcelos de Souza

Relações Empíricas para Estimativa da Resistência ao Arrancamento de Ancoragens/ Lays Cristina Barcelos de Souza D'Hyppolito. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XVII, 189 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 99-107.

1. Resistência ao Arrancamento de Ancoragens. 2. Banco de Dados Brasileiros. 3. Correlações Empíricas. I. Nunes, Anna Laura Lopes da Silva. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que ilumina os caminhos da minha vida.

Ao meu marido, Julio Cezar D’Hyppolito Filho, pela paciência, dedicação e compreensão, além da preciosa revisão e auxílio técnico.

Aos meus pais, Lucimar e Osvaldo, e minha irmã, Camila, pelo carinho, paciência e suporte.

À professora e orientadora Anna Laura Lopes da Silva Nunes, pelo desafio proposto, pela paciência, pelo aprendizado e pela valiosa orientação em todas as etapas, assim como a disponibilização de ensaios do seu arquivo pessoal para complementação do trabalho.

Aos professores Fernando Artur Brasil Danziger, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão, André Pereira Lima e Marcus Peigas Pacheco, pelo aceite a participar da banca examinadora.

Aos meus sogros, Julio Cezar e Maria Eunice, e minha cunhada Izabel, pela compreensão e incentivo.

Aos meus amigos da CNEN, pelo auxílio e compreensão nos momentos conturbados.

A todos meus familiares e amigos, pelos momentos de distração e incentivo, tão importantes nesta fase.

Ao Dr. Thiago Porto, pelo auxílio e disponibilidade em dirimir as dúvidas.

À Empresa MRS Logística pela disponibilidade de ensaios de arrancamento para composição do banco de dados.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

RELAÇÕES EMPÍRICAS PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE ANCORAGENS

Lays Cristina Barcelos de Souza D’Hyppolito

Setembro/2017

Orientadora: Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho apresenta um banco de dados gerado após ampla pesquisa na literatura nacional, a partir da catalogação de ensaios de arrancamento de ancoragens com informações relativas ao local da obra, tipo de solo, tipo de ancoragem, métodos de ensaio e métodos de determinação da resistência ao arrancamento. O banco de dados foi composto por 445 ensaios, sendo 24 ensaios realizados em laboratório e os demais em campo. A grande maioria dos ensaios foi realizada no eixo Rio de Janeiro – São Paulo. Além desses, apenas Minas Gerais e Brasília apresentaram quantidade representativa de ensaios. Foram analisados os dados por região, por tipo de solo, por método executivo e por parâmetros de resistência diretos e indiretos. Apesar das dispersões inerentes ao banco de dados abrangente, o estudo possibilitou a proposta de novas correlações para determinação da resistência ao arrancamento de grampos em função do índice N_{SPT} , tipo de solo e número de injeções, com base nos resultados de ensaios brasileiros, que podem ser adotadas como estimativas preliminares na fase de projeto.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EMPIRICAL RELATIONS TO ESTIMATE THE PULLOUT RESISTANCE OF ANCHORAGES

Lays Cristina Barcelos de Souza D’Hyppolito

September/2017

Advisor: Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Department: Civil Engineering

This work presents a database created after an extensive research in the national literature, from the reporting on tests with information on site, soil type, anchorage type, test methods and pullout resistance methods of determination. The database consisted of 445 tests, of which 24 were developed in laboratory and the others *in situ*. The majority of the tests were carried out between Rio de Janeiro and São Paulo. In addition, only Minas Gerais and Brasília presented representative numbers of tests. The analysis were done by region, soil type, executive method, direct and indirect resistance parameters. Despite the inherent dispersions associated to the wide database, the study resulted in a proposal of a new correlations between the pullout resistance and the NSPT index based on the Brazilian test results, which can be adopted for project purposes.

Sumário

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | Introdução | 1 |
| 1.1 | Importância da Pesquisa | 1 |
| 1.2 | Objetivos da Pesquisa..... | 2 |
| 1.3 | Organização do Documento | 3 |
| 2. | Revisão Bibliográfica..... | 4 |
| 2.1 | Ancoragens Ativas e Passivas | 4 |
| 2.2 | Diferenças entre Solo Grampeado x Cortina Atirantada..... | 7 |
| 2.3 | Execução das Ancoragens | 8 |
| 2.3.1 | Instalação | 8 |
| 2.3.2 | Particularidades de Instalação de Grampos | 10 |
| 2.3.3 | Particularidades de Instalação de Tirantes..... | 13 |
| 2.4 | Modos de Ruptura | 15 |
| 2.5 | Mecanismo de Transferência para o Solo | 16 |
| 2.6 | Ensaio em Grampos e Chumbadores | 18 |
| 2.7 | Ensaio em Tirantes..... | 24 |
| 2.8 | Fatores de Influência de q_s | 25 |
| 2.9 | Estimativas de q_s | 30 |
| 3. | Metodologia | 43 |
| 3.1 | Informações levantadas | 43 |
| 3.2 | Banco de Dados..... | 47 |
| 3.3 | Agrupamento dos Dados | 70 |
| 3.3.1 | Localização do Ensaio | 71 |
| 3.3.2 | Número de Injeções | 71 |
| 3.3.3 | Tipo de Material | 72 |
| 3.4 | Análise Estatística | 73 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 4. | Análise de Resultados | 77 |
| 4.1 | Relação Geral entre q_s e N_{SPT} | 77 |
| 4.2 | Relação entre q_s e N_{SPT} em Função da Região..... | 79 |
| 4.3 | Relação entre q_s e N_{SPT} em Função do Número de Injeções | 82 |
| 4.4 | Relação entre q_s e N_{SPT} em Função do Tipo de Solo | 86 |
| 4.5 | Relação entre q_s e N_{SPT} em Valores Médios | 87 |
| 4.6 | Relação entre q_s e Parâmetros de Resistência (em função de c e ϕ)..... | 88 |
| 4.7 | Comparação com as Estimativas de q_s Existentes | 90 |
| 4.8 | Relação Proposta para Estimativa de q_s | 92 |
| 5. | Conclusões e Sugestões..... | 96 |
| 6. | Referências | 99 |
| | ANEXO I: Banco de Dados | 108 |
| | ANEXO II: Estimativa de N_{SPT} | 185 |
| | ANEXO III: Análise das Metodologias de Obtenção das Correlações..... | 186 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 - Cortina atirantada (GEORIO, 1999). | 5 |
| Figura 2.2 - Solo Grampeado em uma escavação (FEIJO, 2007)..... | 6 |
| Figura 2.3 - Aplicação do solo grampeado em: (a) estabilização de taludes; (b) estabilização de escavações (SARÉ, 2007). | 6 |
| Figura 2.4 - Execução do furo para instalação do grampo (NUNES, 2017)..... | 9 |
| Figura 2.5 - Esquemas ilustrativos dos tipos de execução de concreto projetado (SPRINGER, 2006). | 11 |
| Figura 2.6 - Esquema de aplicação do concreto por via seca (ZIRLIS, 1999). | 12 |
| Figura 2.7 - Diferentes alternativas de conexão do reforço com a face (GEORIO, 1999)..... | 13 |
| Figura 2.8 - Processo de instalação de tirantes (TENGE ENGENHARIA, 2017). | 14 |
| Figura 2.9 - Esquema típico de um tirante: (a) vista longitudinal; (b) seção transversal do trecho ancorado; (c) seção transversal do trecho livre (GEORIO, 1999). | 14 |
| Figura 2.10 - Mobilização da resistência ao cisalhamento ao longo do grampo (Adapt. LAZARTE et al., 2003)..... | 17 |
| Figura 2.11 - Curva Carga típica de ensaio x Deslocamento de arrancamento de grampo. | 19 |
| Figura 2.12 - Esquema da montagem e os equipamentos necessários para o ensaio de arrancamento (SPRINGER, 2006)..... | 20 |
| Figura 2.13 - Montagem do ensaio de arrancamento de grampo (SPRINGER, 2006)..... | 21 |
| Figura 2.14 - Espuma úmida sendo enrolada na barra e amarrada com arame para garantia do trecho livre (SPRINGER, 2006). | 21 |
| Figura 2.15 - Casos de chumbadores com proteções adicionais contra a corrosão (GEORIO, 1999). | 30 |
| Figura 2.16 – Correlações para estimativa de q_s em função da pressão limite de ensaio pressiométrico e valor do N_{SPT} (BUSTAMANTE et al., 1985). | 34 |
| Figura 2.17 - Estimativa de q_s em função de N_{SPT} (ORTIGÃO et al, 1997)..... | 36 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.18 - Fator de λ_1^* em função da tensão nominal para solo residual de gnaiss (PROTO SILVA, 2005)..... | 38 |
| Figura 2.19 - Valores de q_s em solos recomendados pela bibliografia internacional (CARVALHO, 2009). | 40 |
| Figura 2.20 - Valores de q_s em rochas recomendados na bibliografia internacional (CARVALHO, 2009). | 41 |
| Figura 3.1 - Tabela de compilação de dados de ensaios de arrancamento de SPRINGER (2006). | 45 |
| Figura 3.2 - Tabela-modelo de compilação de resultados de ensaios utilizada para composição do banco de dados da pesquisa. | 46 |
| Figura 3.3 – Ciclos de carga durante o ensaio de arrancamento (AZAMBUJA et al., 2001). | 49 |
| Figura 3.4 – Vista geral da obra do Hospital Beneficência Portuguesa com ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003). | 49 |
| Figura 3.5 – Montagem do ensaio de arrancamento do grampo do painel VI (MORAES et al., 2003). | 50 |
| Figura 3.6 – Vista da escavação mostrando as diferentes bancadas onde foram realizados ensaios de arrancamento (PROTO SILVA, 2005). | 52 |
| Figura 3.7 – Gráfico Carga aplicada x deslocamento do grampo instrumentado AR03 (PROTO SILVA, 2005). | 53 |
| Figura 3.8 – Montagem do ensaio de arrancamento de grampo (OLIVEIRA, 2006). | 53 |
| Figura 3.9 – Montagens de ensaios de arrancamento de grampos (SPRINGER, 2006). | 55 |
| Figura 3.10 – Resultado do ensaio de arrancamento de um grampo do Museu 1 (SPRINGER, 2006). | 56 |
| Figura 3.11 – Ensaio de arrancamento dos grampos (PACHECO SILVA et al., 2008). | 57 |
| Figura 3.12 – Sistema utilizado para o ensaio de arrancamento dos grampos no laboratório (MIRANDA, 2009). | 58 |
| Figura 3.13 – Vista do talude adjacente à Tomada d'Água/Canal de Desvio (LIMA, 2010). | 60 |
| Figura 3.14 - Montagem do ensaio de arrancamento (GOLDBACH et al., 2012). | 62 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.15 - Ensaio de arrancamento dos grampos (RESENDE, 2014). | 62 |
| Figura 3.16 – Montagem do ensaio no tirante da obra de Esmeraldas – MG (PORTO, 2015). | 64 |
| Figura 3.17 - Ensaio de arrancamento de grampos (CERQUEIRA SILVA et al., 2016)..... | 65 |
| Figura 3.18 – Ensaio de arrancamento dos grampos (DIAS SILVA, 2016)..... | 66 |
| Figura 3.19 – Ensaio de arrancamento dos grampos na obra da Ilha Bom Jesus (NUNES, 2017). | 67 |
| Figura 3.20 - Referências utilizadas para traçar os limites superior e inferior. | 74 |
| Figura 3.21 - Possíveis posições dos ensaios, em comparação aos limites superior e inferior traçados. | 75 |
| Figura 4.1 – Correlação entre q_s e N_{SPT} de 334 ensaios de arrancamento..... | 77 |
| Figura 4.2 - Correlação entre valores de q_s e N_{SPT} medido e estimado de 426 ensaios de arrancamento. | 78 |
| Figura 4.3 - Correlação entre valores de q_s e N_{SPT} medido e estimado de 426 ensaios de arrancamento com limites superior e inferior. | 79 |
| Figura 4.4 – Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento de São Paulo. | 80 |
| Figura 4.5 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento do Rio de Janeiro..... | 81 |
| Figura 4.6 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento de Brasília. | 82 |
| Figura 4.7 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento com bainha. | 83 |
| Figura 4.8 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento com duas injeções. | 84 |
| Figura 4.9 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento com três ou mais injeções. | 84 |
| Figura 4.10 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento em solos argilosos..... | 86 |
| Figura 4.11 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento em solos arenosos. | 87 |
| Figura 4.12 - Correlação entre q_s e N_{SPT} médio dos ensaios de arrancamento..... | 88 |
| Figura 4.13 - Correlação entre q_s e resistências à compressão e tração teóricas C_o e T_o | 90 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.14 – Comparação de valores de q_s em função principais correlações da literatura..... | 91 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Figura 4.15 – Correlações entre q_s e N_{SPT} em função do tipo de solo, argiloso e arenoso e quantidade de injeções, 1 para bainha e 2 para bainha e 1 ou mais reinjeções. | 94 |
|--|----|

| | |
|--|-----|
| Figura A3. 1 – Correlações definidas com limites inferiores dos grupos considerando 80% de dados. | 187 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Figura A3. 2 – Correlações definidas com curvas médias dos dados de cada grupo considerando que 55% dos dados..... | 187 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Figura A3. 3 – Correlações definidas com curvas médias considerando o melhor ajuste dos pontos até N_{SPT} igual a 30..... | 188 |
|--|-----|

Lista de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 2.1 - Número de ensaios de arrancamento recomendado por CLOUTERRE (1991) para verificação de qs de projeto. | 24 |
| Tabela 2.2 - Valores de tensão de aderência rocha-nata (SPRINGER, 2006). | 32 |
| Tabela 2.3 - Valores de k de acordo com o tipo de solo (adaptado de PORTO, 2015). | 41 |
| | |
| Tabela A1. 1 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1992). | 108 |
| Tabela A1. 2 - Resultados dos ensaios de arrancamento (LEMONS, 1994). | 109 |
| Tabela A1. 3 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997). | 110 |
| Tabela A1. 4 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997). | 111 |
| Tabela A1. 5 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997). | 112 |
| Tabela A1. 6 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997). | 113 |
| Tabela A1. 7 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997). | 114 |
| Tabela A1. 8 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997). | 115 |
| Tabela A1. 9 - Resultados dos ensaios de arrancamento (GOTLIEB et al., 1997). | 116 |
| Tabela A1. 10 - Resultados dos ensaios de arrancamento (FEIJÓ et al., 2001). | 117 |
| Tabela A1. 11 - Resultados dos ensaios de arrancamento (FEIJÓ et al., 2001). | 118 |
| Tabela A1.12 - Resultados dos ensaios de arrancamento (EHRlich et al., 2001). | 119 |
| Tabela A1. 13 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PINTO et al., 2001). | 120 |
| Tabela A1. 14 - Resultados dos ensaios de arrancamento (AZAMBUJA et al., 2001). | 121 |
| Tabela A1. 15 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003). | 122 |

| | |
|--|-----|
| Tabela A1. 16 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003). | 123 |
| Tabela A1. 17 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003). | 124 |
| Tabela A1. 18 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003). | 125 |
| Tabela A1. 19 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003). | 126 |
| Tabela A1. 20 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOARES et al., 2003). | 127 |
| Tabela A1. 21 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MORAES et al., 2003). | 128 |
| Tabela A1. 22 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ALONSO et al., 2003). | 129 |
| Tabela A1. 23 - Resultados dos ensaios de arrancamento (LOZANO et al., 2003). | 130 |
| Tabela A1. 24 - Resultados dos ensaios de arrancamento (OLIVEIRA et al., 2004). | 131 |
| Tabela A1. 25- Resultados dos ensaios de arrancamento (SOUZA et al., 2005). | 132 |
| Tabela A1. 26- Resultados dos ensaios de arrancamento (PROTO SILVA, 2005). | 133 |
| Tabela A1. 27- Resultados dos ensaios de arrancamento (PROTO SILVA, 2005). | 134 |
| Tabela A1. 28 - Resultados dos ensaios de arrancamento (OLIVEIRA et al., 2005). | 135 |
| Tabela A1. 29 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MAGALHÃES, 2005). | 136 |
| Tabela A1. 30 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SPRINGER, 2006). | 137 |
| Tabela A1. 31 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SPRINGER, 2006). | 138 |
| Tabela A1. 32 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SPRINGER, 2006). | 139 |
| Tabela A1. 33 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SPRINGER, 2006). | 140 |
| Tabela A1. 34 - Resultados dos ensaios de arrancamento (FRANÇA, 2007). | 141 |
| Tabela A1. 35 - Resultados dos ensaios de arrancamento (LEITE, 2007). | 142 |
| Tabela A1. 36 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA et al., 2008). | 143 |
| Tabela A1. 37 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA, 2009). | 144 |

| | |
|---|-----|
| Tabela A1. 38 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA, 2009)..... | 145 |
| Tabela A1. 39 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA, 2009)..... | 146 |
| Tabela A1. 40 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA, 2009)..... | 147 |
| Tabela A1. 41 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA, 2009)..... | 148 |
| Tabela A1. 42 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MIRANDA, 2009). | 149 |
| Tabela A1. 43 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MIRANDA, 2009). | 150 |
| Tabela A1. 44 - Resultados dos ensaios de arrancamento (HLENKA et al., 2010). | 151 |
| Tabela A1. 45 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MEDEIROS et al., 2010)..... | 152 |
| Tabela A1. 46 - Resultados dos ensaios de arrancamento (LIMA, 2010). | 153 |
| Tabela A1. 47 - Resultados dos ensaios de arrancamento (CERQUEIRA SILVA, 2010)..... | 154 |
| Tabela A1. 48 - Resultados dos ensaios de arrancamento (BELONI, 2010)..... | 155 |
| Tabela A1. 49 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PASSINI et al., 2012). | 156 |
| Tabela A1. 50 - Resultados dos ensaios de arrancamento (BEZERRA et al., 2012). | 157 |
| Tabela A1. 51 - Resultados dos ensaios de arrancamento (GOLDBACH et al., 2012)..... | 158 |
| Tabela A1. 52 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MORETTI et al., 2013). | 159 |
| Tabela A1. 53 - Resultados dos ensaios de arrancamento (RESENDE, 2014)... | 160 |
| Tabela A1. 54 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015). | 161 |
| Tabela A1. 55 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015). | 162 |
| Tabela A1. 56 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015). | 163 |
| Tabela A1. 57 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015). | 164 |
| Tabela A1. 58 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015). | 165 |
| Tabela A1. 59 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015). | 166 |
| Tabela A1. 60 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015). | 167 |

| | |
|---|-----|
| Tabela A1. 61 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015). | 168 |
| Tabela A1. 62 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015). | 169 |
| Tabela A1. 63 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015). | 170 |
| Tabela A1. 64 - Resultados dos ensaios de arrancamento (GOBBI et al., 2016). | 171 |
| Tabela A1. 65 - Resultados dos ensaios de arrancamento (CERQUEIRA SILVA et al., 2016). | 172 |
| Tabela A1. 66 - Resultados dos ensaios de arrancamento (DIAS SILVA, 2016). | 173 |
| Tabela A1. 67 - Resultados dos ensaios de arrancamento (DIAS SILVA, 2016). | 174 |
| Tabela A1. 68 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOLOTRAT, 2011). | 175 |
| Tabela A1. 69 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOLOTRAT, 2011). | 176 |
| Tabela A1. 70 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOLOTRAT, 2011). | 177 |
| Tabela A1. 71 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOLOTRAT, 2011). | 178 |
| Tabela A1. 72 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOLOTRAT, 2011). | 179 |
| Tabela A1. 73 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MRS LOGÍSTICA, 2017). | 180 |
| Tabela A1. 74 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MRS LOGÍSTICA, 2017). | 181 |
| Tabela A1. 75 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MRS LOGÍSTICA, 2017). | 182 |
| Tabela A1. 76 - Resultados dos ensaios de arrancamento (NUNES, 2017). | 183 |
| Tabela A1. 77 - Resultados dos ensaios de arrancamento (NUNES, 2017). | 184 |

Lista de Símbolos

q_s – resistência ao arrancamento das ancoragens

N_{SPT} - índice de resistência à penetração obtido no ensaio SPT

NBR – Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

c - coesão do solo

ϕ - ângulo de atrito do solo

C_0 - resistência à compressão uniaxial

T_0 - resistência à tração uniaxial

kN – unidade de força, quilonewton

kgf – unidade de força, quilograma-força

Pa – unidade de pressão, Pascal

ϕ aço – diâmetro da barra de aço da ancoragem

ϕ furo – diâmetro do furo onde será instalada a ancoragem

L livre – comprimento livre da ancoragem

P_0 - pressão obtida no ensaio dilatométrico

DMT - Ensaio dilatométrico

L – comprimento total do grampo

T_0 – força aplicada na extremidade do grampo

$T(x)$ – força na posição x do grampo

$q(x)$ – resistência ao cisalhamento na interface na posição x

1. Introdução

1.1 Importância da Pesquisa

As ancoragens são elementos utilizados para resistir principalmente à tração, servindo como reforço da massa de solo ou rocha. Elas podem ser classificadas em ativas, conhecidas como tirantes, ou passivas, que seriam os grampos e chumbadores. É muito comum a utilização desses elementos para reforço de taludes, dando origem aos projetos de estabilização conhecidos como cortina atirantada e solo grampeado.

Os projetos de solo grampeado e de cortina atirantada são baseados essencialmente na resistência ao arrancamento dos elementos inseridos no maciço. Este parâmetro é obtido por meio de ensaios executados em campo nas condições mais representativas do terreno e da obra, sendo geralmente ensaios de arrancamento destas inclusões. Entretanto, a prática mais comum, principalmente no caso de grampos, tem sido o uso de estimativas de resistência ao arrancamento por meio de correlações empíricas. Com menor frequência, o valor estimado é verificado em ensaios de arrancamento realizados durante a fase de execução da obra, permitindo ajustes de projeto.

Desta forma, na maioria das vezes, os valores de resistência ao arrancamento das ancoragens utilizados para projeto são estimados por correlações empíricas que levam em conta as características do material da encosta, tais como a descrição tátil-visual e o índice de resistência à penetração do ensaio SPT (N_{SPT}). Também são utilizados, para estimar a resistência, resultados de ensaios de arrancamento em material semelhante, quando existentes e disponibilizados. Porém, frequentemente, as estimativas necessárias ao projeto do sistema de reforço são realizadas baseadas em equações empíricas criadas para outras regiões e outro tipo de material. Sendo assim, destaca-se a importância de se agrupar e analisar a resistência obtida de ensaios de arrancamento já realizados e publicados, de forma a melhorar a estimativa inicial desse parâmetro, minimizando as alterações e otimizando projetos posteriores.

Infelizmente, é notório que o banco de dados publicado ainda não reflete a quantidade de obras com solo grampeado ou cortina atirantada existentes no Brasil. Apesar da realização desse tipo de reforço ser muito comum, poucas vezes são

realizados ensaios de arrancamento das ancoragens e, quando realizados, os dados são disponibilizados com ainda menor frequência. Isto em muito dificulta a realização de análises e a definição de correlações para estimativa da resistência ao arrancamento de grampos, o que incentiva e justifica o desenvolvimento da presente da pesquisa.

1.2 Objetivos da Pesquisa

Esta pesquisa tem como objetivo geral estabelecer uma proposta para estimativa da resistência ao arrancamento de grampos em função de parâmetros mais facilmente determinados tais como tipo de solo, índice de resistência à penetração (N_{SPT}) e procedimentos executivos de ancoragens, a partir de relações empíricas obtidas de resultados de ensaios de arrancamento apresentados na literatura técnica brasileira.

Os trabalhos existentes na literatura nacional apresentam resultados de ensaios de arrancamento de regiões específicas, executados em diversos tipos de ancoragens e com diferentes procedimentos de carregamento. Esta pesquisa reúne os dados existentes na literatura brasileira, referente a resultados de ensaios de arrancamento em solos ou materiais rochosos. Uma vez criado o banco de dados, os resultados são analisados, visando o comportamento de acordo com a região, tipo de solo e procedimento executivo do reforço ensaiado.

Sendo assim, os objetivos específicos dessa pesquisa são:

- a) Criar um banco de dados de resistência ao arrancamento (q_s) de grampos, além de chumbadores e tirantes;
- b) Analisar os resultados dos ensaios de arrancamento visando definir o comportamento de acordo com a região, tipo de solo e procedimento executivo do reforço ensaiado;
- c) Estabelecer propostas de correlações para obtenção da resistência ao arrancamento de grampos, específicas em função do tipo de solo ensaiado.

1.3 Organização do Documento

A dissertação é constituída por 5 capítulos, sendo este primeiro aquele que apresenta a importância, objetivos e metodologia para desenvolvimento do tema.

A revisão bibliográfica dos conceitos de grampos, tirantes e chumbadores é apresentada no Capítulo 2. São resumidas as definições, informações executivas e modos de rupturas observados. São também descritos os ensaios realizados para determinar a resistência ao arrancamento e seus fatores de influência. Ainda são apresentadas as principais correlações usadas para estimativas da resistência ao arrancamento (qs).

Após essa revisão bibliográfica, as informações referentes ao banco de dados são disponibilizadas no Capítulo 3. O banco de dados foi gerado após ampla pesquisa da literatura nacional, permitindo a catalogação de ensaios com informações relativas ao local da obra, tipo de solo, tipo de grampo, métodos de ensaio e métodos de determinação da resistência ao arrancamento. Além disso, nesse capítulo define-se como será realizada a análise, buscando a formação de grupos específicos, de acordo com região, tipo de solo e método executivo. Ainda nesse capítulo, são definidos os índices estatísticos mínimos necessários à análise.

No Capítulo 4 são realizadas as análises do banco de dados. São apresentadas as análises gerais e de grupos já definidos no capítulo anterior. Por fim, são propostas correlações para determinação da resistência ao arrancamento de grampos em função do índice de resistência à penetração (N_{SPT}), do tipo de solo e do método executivo.

Finalmente, o Capítulo 5 resume as principais conclusões reportadas no trabalho e oferece sugestões para futuras pesquisas.

A dissertação conta ainda com três anexos. O Anexo 1 apresenta as tabelas-resumo dos ensaios de arrancamento catalogados, contendo as principais informações e os resultados de cada ensaio. O Anexo II contém as estimativas do valor de N_{SPT} realizadas na pesquisa, de forma a possibilitar a inclusão nas correlações dos ensaios sem informação de N_{SPT} . Por último, o Anexo III faz uma resumida análise das metodologias utilizadas para escolha das curvas específicas para estimativa da resistência ao arrancamento em função do tipo de solo e número de injeções do grampo.

2. Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos para o desenvolvimento deste trabalho. São apresentadas as definições de ancoragens, grampos, tirantes e chumbadores, além das técnicas de solo grampeado e cortina atirantada. Além disso, o capítulo tem um enfoque especial na resistência ao cisalhamento na interface de reforço com solo ou com rocha, também conhecida como resistência ao arrancamento, que é muito importante para o projeto das ancoragens.

2.1 Ancoragens Ativas e Passivas

Ancoragens são inclusões semi-rígidas empregadas como elementos para resistir à tração e também ao cisalhamento, atuando como reforço da massa de solo ou rocha. As ancoragens podem ser classificadas em ativas ou passivas, conforme a aplicação de protensão inicial. As ancoragens ativas são pré-carregadas, ou seja, recebem uma carga inicial, carga de protensão, e são chamadas de tirantes. Já as ancoragens passivas não são submetidas a um carregamento, isto é, não são protendidas, sendo divididas em grampos e chumbadores, de acordo com o tipo de material reforçado, maciço de solo e rocha, respectivamente.

O tirante é um elemento de aço de alta resistência podendo ser constituído de fios, cordoalha ou barra de aço. É essencialmente um elemento estrutural que transmite forças de tração ao maciço circundante. Uma parte do tirante, denominado de comprimento ancorado ou bulbo de ancoragem, se solidariza ao maciço através da nata de cimento injetada. A cabeça do tirante corresponde à extremidade da barra de aço, situada na face do terreno e, geralmente, recebe uma proteção representada por caixa de concreto. O comprimento livre é a parte do tirante entre o bulbo de ancoragem e a cabeça do tirante. O tirante transmite a força de tração, aplicada ao terreno previamente, através da nata de cimento, por aderência ou cisalhamento ao longo das interfaces tirante-nata e nata-solo/rocha.

A cortina atirantada (ou cortina ancorada) é uma técnica de reforço que consiste, em geral, de uma grande laje de concreto armado, de espessura geralmente variando

entre 20 e 30cm, presa ao maciço por tirantes pré-tensionados (Figura 2.1). O sistema aplica uma força no maciço que o estabiliza, impedindo, ou reduzindo consideravelmente, seu deslocamento. As cortinas ancoradas tiveram um grande desenvolvimento no Brasil, especialmente por meio de A. J. da Costa Nunes, que desenvolveu o método a partir de 1957 na empresa Tecnosolo S.A. A norma NBR 5629 (ABNT, 2006) prescreve as condições mínimas a serem atendidas para a execução de tirantes.

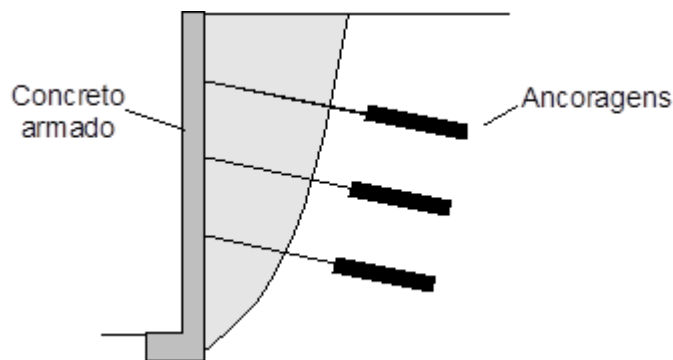


Figura 2.1 - Cortina atirantada (GEORIO, 1999).

Por outro lado, o solo grampeado é uma técnica de reforço que consiste na inclusão de elementos lineares passivos semi-rígidos resistentes a esforços de tração e cisalhamento. São denominados grampos, caso sejam aplicados em solo, ou chumbadores, caso aplicados em rocha. Os grampos/chumbadores são muito semelhantes aos tirantes, porém sem pré-tensão. No caso de solos, em geral, estes reforços estão associados à aplicação de um revestimento delgado na face do talude, como por exemplo, concreto projetado, conforme mostrado na Figura 2.2.

O solo grampeado é uma técnica bastante eficiente no que diz respeito ao reforço do maciço de solo em taludes naturais ou taludes de corte resultantes de processo de escavação, conforme mostrado na Figura 2.3. Sua função é minorar os deslocamentos do maciço terroso pelo acréscimo de forças internas contrárias. A decompressão progressiva do solo, em função das sucessivas fases de escavação ou de uma configuração de ruptura do maciço, gera deslocamentos laterais no solo (LIMA, 2007).

Estes deslocamentos, então, induzem o surgimento de forças opostas nos grampos, de forma a diminuí-los.

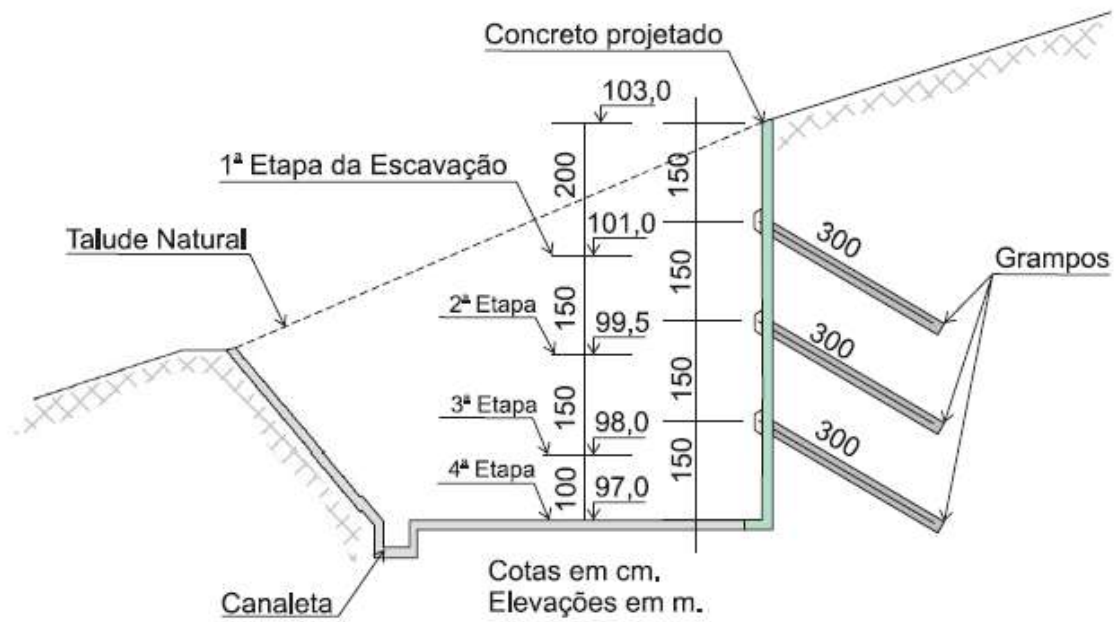


Figura 2.2 - Solo Grampeado em uma escavação (FEIJO, 2007).

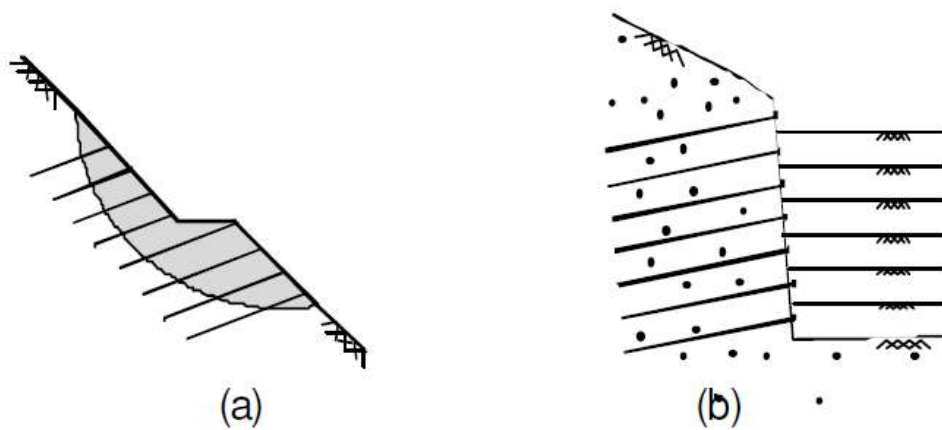


Figura 2.3 - Aplicação do solo grampeado em: (a) estabilização de taludes; (b) estabilização de escavações (SARÉ, 2007).

O método de estabilização por solo grampeado passou a se desenvolver no início dos anos 70. França, Alemanha, Portugal e Estados Unidos lideram pesquisas de

aprimoramento da técnica, com grande número de obras instrumentadas, modelagens numéricas e estudos em modelos reduzidos.

A contenção com grampos, em geral, apresenta vantagens quando comparada com outras técnicas de reforço. É uma tecnologia de baixo custo e com equipamentos relativamente pequenos e leves, tendo vantagens como economia, versatilidade, segurança e velocidade de execução. Por isso, esta técnica foi disseminada em larga escala no Brasil a partir da década de 70, em contenção de escavações e estabilização de taludes naturais. Devido às vantagens da técnica, seu desenvolvimento e aprimoramento se aceleraram principalmente nos últimos 10 anos. Apesar desse avanço, segundo LIMA (2007), menos de 10% das obras de solo grampeado no Brasil utilizaram algum tipo de instrumentação, dificultando as análises do comportamento deste tipo de estabilização.

Por fim, existem algumas limitações que restringem a utilização dessa técnica, sendo as principais:

- a) Deslocamentos laterais e verticais inerentes à técnica: por ser um tipo de reforço passivo, são necessários deslocamentos do maciço a fim de mobilizá-lo;
- b) Tipo de solo: o solo deve possuir alguma coesão ou cimentação, para que o talude escavado permaneça estável por algumas horas até a instalação dos grampos;
- c) Saturação do meio: o uso da técnica limita-se a maciços de solo sem nível d'água estabelecido; caso contrário, será necessário algum procedimento para rebaixamento do NA;
- d) Corrosão: um dos principais problemas do solo grampeado, que prejudica sua vida útil e será discutido posteriormente.

2.2 Diferenças entre Solo Grampeado x Cortina Atirantada

Os grampos são intervenções com mobilização passiva, enquanto os tirantes apresentam mobilização ativa. Os tirantes são protendidos e assim são mobilizados sem necessidade de deformação do maciço. Ao contrário, os grampos não são protendidos. Somente após a deformação do maciço, eles se mobilizam. Sabe-se, entretanto, que as deformações necessárias para mobilização da interação solo/grampo são reduzidas.

No caso de estruturas com solo grampeado, os avanços dos serviços de contenção ocorrem de forma contínua, não necessitando de paralisações para aguardar cura, ensaios e protensão das inclusões, que são necessárias em projetos de ancoragens atirantadas. Ao contrário dos tirantes, os grampos não precisam ter trecho livre, podendo transferir tensões para o maciço ao longo de todo o seu comprimento.

2.3 Execução das Ancoragens

2.3.1 Instalação

O processo de instalação do reforço consiste, em geral, na execução prévia de um furo, inserção de barra de aço e injeção de material cimentante para preenchimento do furo, não necessariamente nessa ordem. Existem também os grampos cravados e aparafusados, mas esses não são muito comuns no Brasil e não serão comentados nesse trabalho.

No processo de perfuração, normalmente, utiliza-se água ou ar comprimido. O uso de lama bentonítica não é recomendado, devido à possibilidade de redução do atrito entre o solo e o reforço. Caso seja utilizada, recomenda-se a execução de lavagem do furo antes da execução da injeção de nata de cimento. Logo após a perfuração, pode ser feita a limpeza do furo, com circulação de água ou não, de modo a se retirar os detritos deixados no processo de execução. O sistema usual de perfuração, principalmente em São Paulo, é aquele por lavagem com água, por meio de hastes dotadas de elementos cortantes na extremidade, do tipo tricones com vídea (ZIRLIS, 1999). A Figura 2.4 ilustra a perfuração do maciço para execução do grampo.

Então segue-se a instalação e fixação dos elementos de reforços. As barras de aço devem receber tratamento anticorrosivo com resinas epóxicas ou pintura eletrolítica. Segundo GEORIO (1999), no Brasil os reforços são geralmente feitos de aço, do tipo CA-50, Dywidag, Gewi ou Rocsolo de 12,5 a 41mm. Após as barras terem sido introduzidas nos furos e posicionadas com o auxílio de centralizadores para evitar o contato com o maciço, executa-se a injeção do grampo com um fluido cimentante, normalmente nata de cimento ou resina.



Figura 2.4 - Execução do furo para instalação do grampo (NUNES, 2017).

A injeção de nata de cimento, denominada bainha, é realizada por meio de tubulação acessória, cuja extremidade é posicionada no fundo da perfuração, injetando-se, sob baixa pressão, a nata de cimento com fator água cimento em torno de 0,5. O processo de preenchimento do furo se dá de maneira ascendente, partindo-se do fundo para a superfície até que ocorra extravasamento de nata na boca do furo, garantindo assim o total preenchimento da cavidade. Essa tubulação acessória pode ser perdida ou removível, com diâmetro em torno de 10 a 15mm, e pode ser provida de válvulas com espaçamento constante ou não.

Adjacente à barra, pode-se prever a instalação de tubos de reinjeção, cuja quantidade depende do número de fases de injeção previstas (considerando um tubo para cada fase). A reinjeção (segunda injeção), além de promover uma melhor ancoragem, trata o maciço, adensando-o e preenchendo fissuras. Segundo GEORIO (1999), um sistema de reinjeção é uma medida cautelar recomendada que permite elevar a capacidade de carga e reutilizar uma ancoragem que apresente deslocamentos excessivos. Sendo assim, a boa prática sugere que toda ancoragem receba, pelo menos, uma fase de reinjeção além da bainha. No caso dos tirantes, segundo a norma NBR 5629 (ABNT, 2006), a escolha do tipo de injeção fica a critério do executor, desde que

seja garantido o preenchimento total do furo aberto no solo e a capacidade de carga do tirante.

Resumidamente, o desempenho da ancoragem pode ser melhorado com os seguintes cuidados (ORTIGÃO, 1997):

- a) Limpeza do furo: realizada durante e após a perfuração a seco (com ar comprimido) ou com água ou outro fluido na lavagem (com equipamentos rotativos);
- b) Materiais e fator água-cimento: o cimento utilizado na injeção deve ter resistência e propriedades adequadas, devendo ser misturado com a água numa determinada proporção, o fator água-cimento;
- c) Aditivos: um importante aditivo é o expansor de nata de cimento, que evita a retração e, conseqüentemente, a diminuição do atrito. Outro aditivo relevante é o acelerador de pega, permitindo a mobilização do reforço em menor tempo;
- d) Tubo lateral de injeção: a utilização de uma tubulação plástica lateral de injeção deve ser prática obrigatória, especialmente em grampos com comprimento maior que 3m, pois é essencial garantir que a nata preencha todo o furo;
- e) Espaçadores e centralizadores: são dispositivos simples que podem ser fabricados na própria obra, instalados a cada 2 ou 3m ao longo da barra de aço e que garantem a centralização da barra em relação ao furo.

2.3.2 Particularidades de Instalação de Grampos

Em caso de escavações reforçadas com solo grampeado, a altura máxima a escavar em cada etapa depende do tipo de terreno e da inclinação da face de escavação, que deverá ser estável durante a fase crítica que ocorre entre a escavação, a instalação do reforço e a aplicação de um revestimento delgado de concreto projetado. Segundo a GEORIO (1999), o material a ser escavado deve apresentar uma resistência aparente não drenada ao cisalhamento mínima de 10kPa, do contrário não se poderá executar a escavação.

Após a introdução dos grampos, recomenda-se fazer a proteção da face do maciço. Apesar de não ter, a princípio, função estrutural, essa proteção evita rupturas localizadas e erosão superficial. É comum a utilização de concreto projetado. O

concreto projetado é aplicado em todo o talude, obtendo-se uma superfície protetora com boa resistência à erosão e grande durabilidade. Segundo SPRINGER (2006), em solos a proteção é geralmente executada por meio de jateamento de concreto sobre uma malha metálica, com espessura entre 5cm e 15cm e com armadura suficiente para resistir à tração gerada pela dilatação térmica do próprio concreto. Por outro lado, ZIRLIS (1999) cita a utilização de concreto projetado com fibras metálicas de aço ao invés de telas.

Pode-se aplicar o concreto projetado por via seca ou úmida. Um esquema mostrando as etapas das duas formas de aplicação é apresentado na Figura 2.5. Na via seca, os componentes do concreto são misturados sem adição de água e apenas é adicionada a água junto ao bico de projeção, “a sentimento do operador”, instantes antes da aplicação. Já na via úmida, o concreto é misturado com todos os seus componentes e conduzido por mangotes até o local da aplicação. Devido à praticidade e possibilidade de interromper e reiniciar o trabalho sem perdas, geralmente utiliza-se a aplicação por via seca (Figura 2.6).

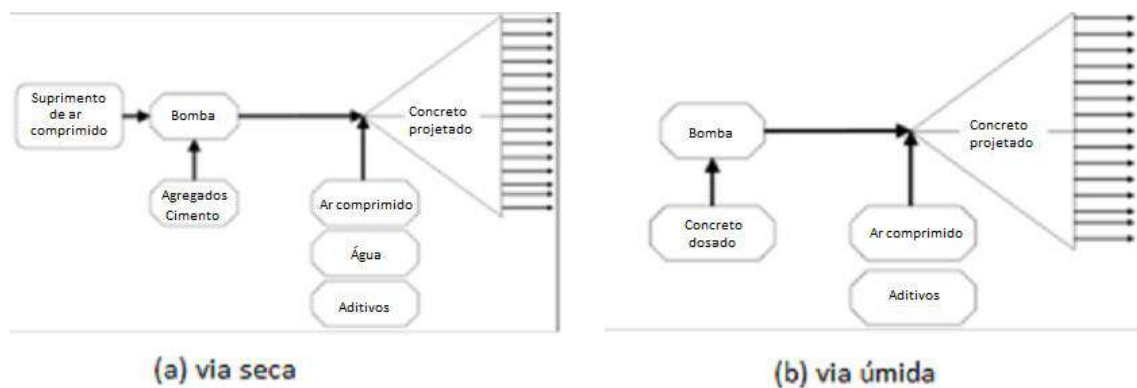


Figura 2.5 - Esquemas ilustrativos dos tipos de execução de concreto projetado (SPRINGER, 2006).

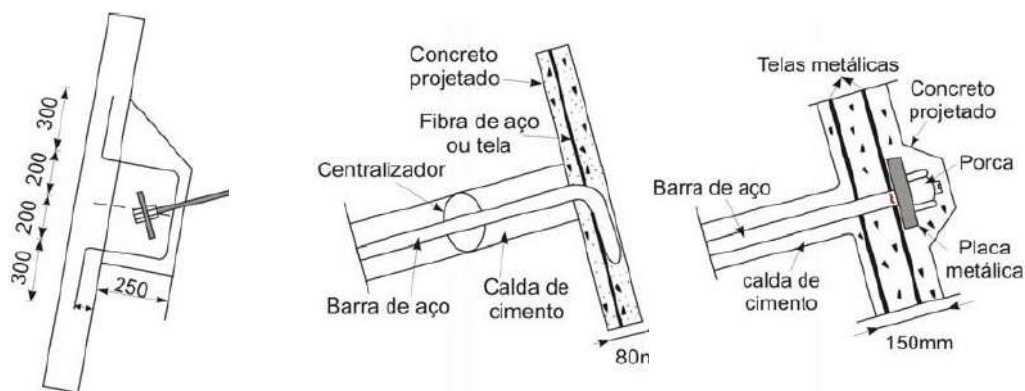


Figura 2.6 - Esquema de aplicação do concreto por via seca (ZIRLIS, 1999).

Recentemente, outros tipos de proteção vêm sendo executados, tais como a utilização, em solos, de geogrelha e a posterior plantação de vegetação para conter a erosão superficial da face. Além de ser uma opção econômica, tem uma vertente ambiental, onde o produto final acaba se confundindo com o meio natural. SOBRAL et al. apresentam um exemplo de revestimento em face verde com geomantas, que permitem uma perfeita integração ambiental.

A extremidade do reforço pode ser livre ou conectada à face de diferentes maneiras, conforme ilustrado na Figura 2.7: (a) embutida no paramento; (b) dobrada 90° em relação a sua extremidade; ou (c) fixada por placa metálica, rosca e porca. SPRINGER et al. (2001) estudaram a conexão do grampo com a face por meio de simulações numéricas, considerando os casos a e b como extremidades livres e o caso c como extremidade fixa. Os resultados mostraram que a conexão afeta a distribuição de tensão nos reforços e o deslocamento da face.

Vale ressaltar que são as deformações internas na parede de solo grampeado, e especialmente extensões laterais, que induzem a mobilização da resistência ao cisalhamento ao longo dos grampos e a mobilização das tensões de tração posteriormente.



(a) Extremidade embutida

(b) Dobrada 90°

(c) Fixada

Figura 2.7 - Diferentes alternativas de conexão do reforço com a face (GEORIO, 1999).

2.3.3 Particularidades de Instalação de Tirantes

Um esquema mostrando a execução dos tirantes é apresentado na Figura 2.8. Destaca-se a semelhança com a execução dos grampos, mas é importante ressaltar que geralmente são utilizadas pressões de injeções mais altas que as adotadas para grampos. Na Figura 2.9 é apresentado um esquema típico de um tirante.

Após a injeção e o tempo de cura determinado em projeto, os tirantes da obra devem ser submetidos ao ensaio de recebimento segundo a norma NBR 5629 (ABNT, 2006). No ensaio de recebimento, deve-se verificar a estabilização do deslocamento total para a carga máxima de ensaio e o alongamento da ancoragem (elástico e permanente). Assim, para a aprovação da ancoragem, deve ser observada a estabilização do deslocamento total do topo da ancoragem para a carga máxima de ensaio prevista e os deslocamentos elásticos devem estar contidos dentro dos limites inferior e superior recomendados na norma.

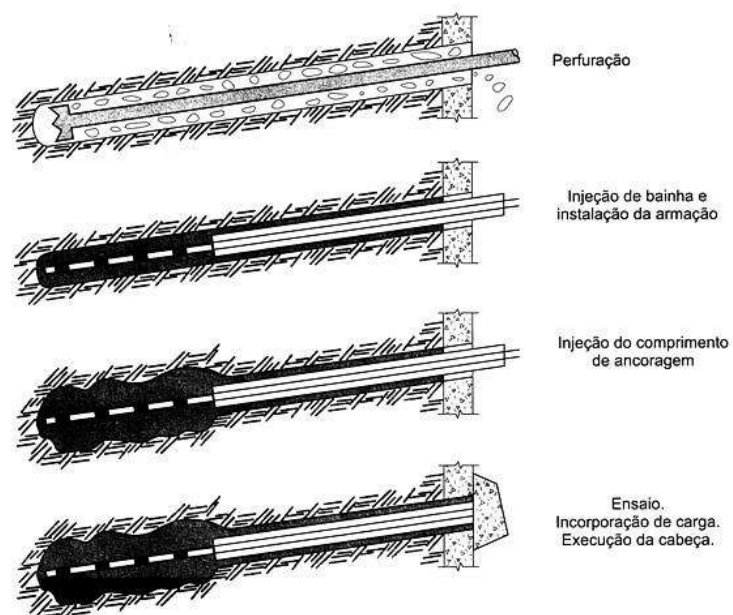


Figura 2.8 - Processo de instalação de tirantes (TENGE ENGENHARIA, 2017).

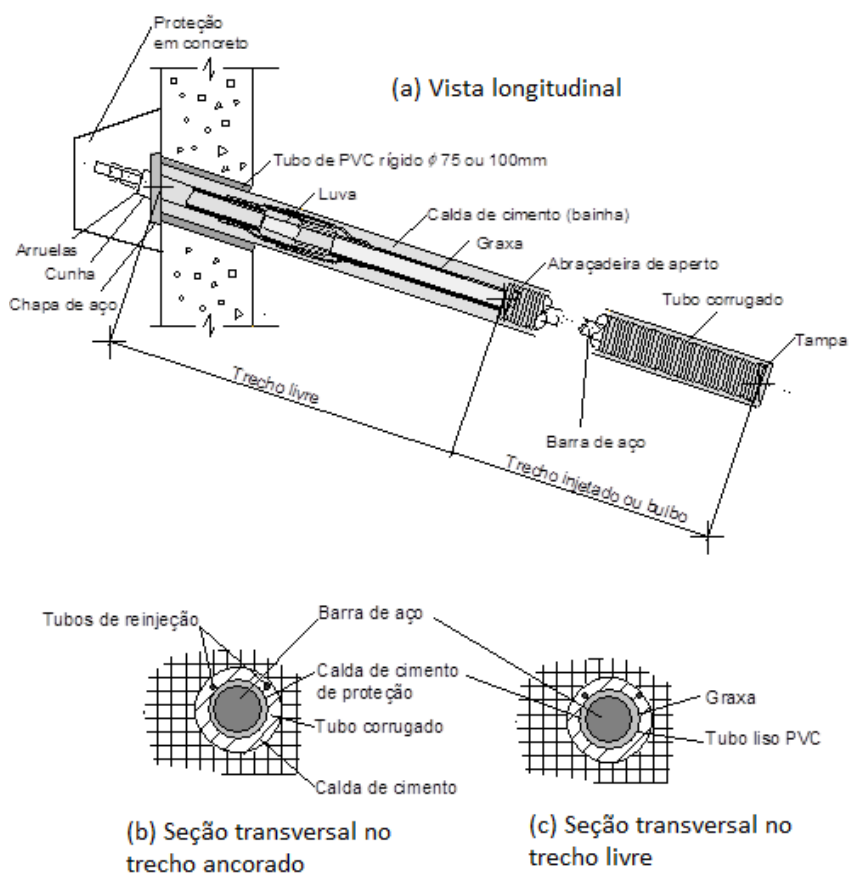


Figura 2.9 - Esquema típico de um tirante: (a) vista longitudinal; (b) seção transversal do trecho ancorado; (c) seção transversal do trecho livre (GEORIO, 1999).

Além desse ensaio, são previstos na norma a execução de ensaio básico, de qualificação e fluência em uma percentagem dos tirantes projetados. Cabe salientar que a norma trata apenas de tirantes, não existindo ainda norma ABNT para grampos e chumbadores.

O tirante pode ser incorporado à estrutura de forma definitiva somente após a execução e aceitação dos ensaios estipulados na norma. Lembra-se ainda que, no caso dos tirantes, deve ser executada também a parede de concreto armado onde os tirantes são fixados.

2.4 Modos de Ruptura

As solicitações nas ancoragens são, geralmente, esforços normais. No entanto, possíveis solicitações transversais podem promover o surgimento de esforços cisalhantes e momentos fletores. A magnitude desses esforços está diretamente ligada à rigidez da ancoragem e à relação entre a direção do reforço e da deformação principal maior. Os principais modos de ruptura de uma ancoragem são:

- a) Ruptura da barra do reforço;
- b) Ruptura no contato ancoragem-nata;
- c) Ruptura no contato nata-material geotécnico (solo ou rocha).

Em geral, a ruptura ocorre no contato nata-material geotécnico (c), pois é menos conhecida devido às inúmeras variações que ocorrem na natureza. A barra do reforço e a nata devem ser dimensionadas de forma a evitar os tipos de ruptura (a) e (b).

Para se prevenir a ruptura por tração da barra do tirante (tipo a), é suficiente verificar se a tensão atuante é inferior ao valor da tensão de ruptura do aço. Já no caso da ruptura tipo b, o comprimento de ancoragem necessário para evitar a ruptura do contato barra-nata é calculado admitindo-se a hipótese de distribuição uniforme de tensões de cisalhamento. A tensão de aderência barra-nata é função do tipo de nata e das características de superfície da barra, podendo ser estimada segundo BROWN (1970) como:

$$\tau = 0,17\sqrt{C'_o} \text{ , para barras lisas} \quad (\text{Equação 2.1})$$

$$\tau = 0,96\sqrt{C'_o} \text{ , para barras nervuradas} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Sendo C'_o a resistência à compressão uniaxial da nata.

Nesta pesquisa será estudada a ruptura mais comum, a do tipo c.

2.5 Mecanismo de Transferência para o Solo

A transferência de tensões entre o solo e o reforço envolve um mecanismo de resistência ao cisalhamento entre os dois materiais. O mecanismo de transferência de carga do chumbador, do grampo e do tirante são semelhantes ao que ocorre em estacas. A resistência lateral, representada pelas forças de cisalhamento na interface solo-nata, é mobilizada por um mecanismo típico que pode ser resumido através de 3 estágios progressivos de interação da interface estaca-solo: (i) Resistência garantida pela adesão; (ii) Resistência por atrito e/ou imbricamento mecânico; e (iii) Resistência por cisalhamento (NUNES et al., 2002).

Segundo NUNES et al. (2002), a adesão corresponde à resistência inicial da ancoragem antes do deslizamento, e é produzida principalmente pela aglutinação da nata de cimento nas rugosidades microscópicas do aço e pelas ligações moleculares. A componente de atrito depende da tensão de confinamento, da rugosidade da superfície do aço e da magnitude do deslizamento, mas é independente da magnitude das tensões atuantes no tirante. A resistência por cisalhamento corresponde à mobilização da resistência ao cisalhamento da nata entre as nervuras da barra ou das irregularidades do maciço de rocha ou solo.

A mobilização da resistência ao cisalhamento no contato entre o solo e o grampo não é uniforme, como ilustra a Figura 2.10. Ela depende de uma série de fatores, tais como comprimento da ancoragem, magnitude das forças de tração aplicada, nível de tensão vertical na ancoragem, características da nata e propriedades do solo. No entanto, como simplificação, a mobilização da resistência ao cisalhamento no contato solo-

ancoragem é admitida constante ao longo de todo o comprimento do reforço, o que resulta num valor de Q (resistência mobilizada por unidade de comprimento) constante.

O conhecimento da interação solo-reforço é imprescindível para projetos em estruturas grampeadas e atirantadas. Os ensaios de arrancamento, em caso de grampos e chumbadores, e os ensaios básico e de qualificação, em caso de tirantes, são os mais utilizados para se determinar a resistência da interação com o solo. Porém, estes ensaios tornam-se mais viáveis de se realizar na fase de execução das obras, sendo necessário muitas vezes na fase de projeto o uso de estimativas da resistência por atrito lateral baseadas em correlações empíricas.

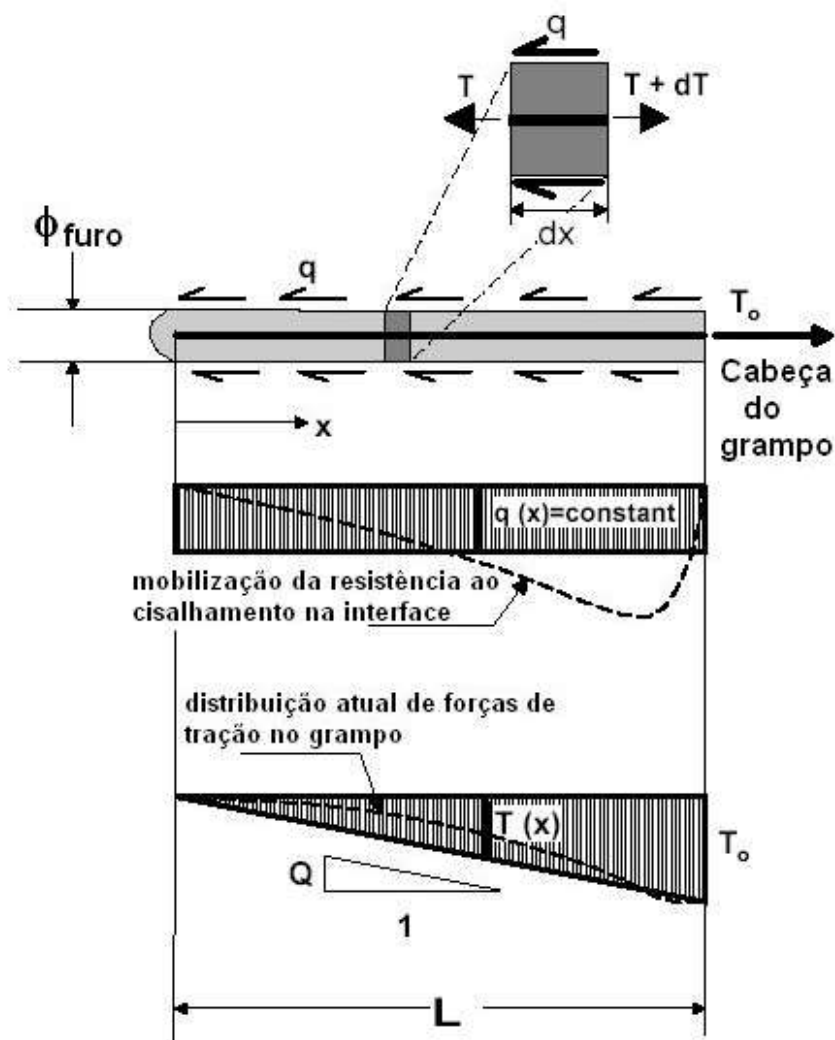


Figura 2.10 - Mobilização da resistência ao cisalhamento ao longo do grampo (Adapt. LAZARTE et al., 2003).

2.6 Ensaios em Grampos e Chumbadores

Um dos parâmetros mais importantes em projetos de solo grampeado é a resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo (q_s). O valor de q_s é função das propriedades do solo, do grampo e da interface solo-grampo. Existem alguns ensaios usados para determinar q_s . Os ensaios mais utilizados são os ensaios de arrancamento, mas os ensaios de cisalhamento direto também podem ser utilizados.

Os ensaios de cisalhamento direto para determinação de q_s consistem basicamente de uma adaptação do ensaio de cisalhamento direto convencional, onde o plano de cisalhamento situa-se exatamente na interface solo-reforço. A partir da envoltória de resistência da interface solo-reforço pode-se obter os parâmetros de interface.

PROTO SILVA (2005) realizou ensaios de cisalhamento direto, admitindo-se que o mecanismo de transferência de carga na interação solo/grampo se dá pelo deslizamento da nata de cimento no contato com o solo. Esses ensaios consistiram, basicamente, em deslocar a metade inferior do corpo-de-prova (composto por nata de cimento) em relação à metade superior (composto do solo estudado), determinando-se, assim, para cada tensão normal, o valor do esforço cortante necessário para provocar a ruptura na interface solo/nata de cimento. Com base nesses ensaios, realizados sob diferentes tensões normais, foram obtidos os parâmetros da interface.

O autor procurou estabelecer uma relação semi-empírica para estimativa da resistência ao arrancamento de grampos em função dos parâmetros de resistência do solo e da interface solo/nata de cimento, propondo a seguinte expressão:

$$q_s = \lambda_1(c'_a + \sigma_n \tan \delta') \quad (\text{Equação 2.3})$$

Onde:

q_s : resistência ao arrancamento;

λ_1 : fator de carga;

c'_a : adesão da interface;

σ_n : tensão normal aplicada ao grampo;

δ' : ângulo de atrito da interface.

Em relação aos ensaios de arrancamento, aplicam-se cargas de tração, com macaco hidráulico, à barra de aço que compõe o grampo instalado no terreno. Para cada nível de carregamento aplicado, registra-se o deslocamento da cabeça do grampo, através dos extensômetros instalados na placa de referência.

O objetivo principal dos ensaios de arrancamento é determinar a resistência ao arrancamento (q_s) a partir do pico da curva Deslocamento x Carga (Figura 2.11). Também pode ser considerado que atingiu a resistência ao arrancamento quando ocorre aumento de deslocamento com redução de carga.



Figura 2.11 - Curva Carga típica de ensaio x Deslocamento de arrancamento de grampo.

Os ensaios de arrancamento podem ser executados com deslocamento controlado (velocidade constante) ou com força controlada. O mais comum na prática brasileira é o de força controlada.

Os equipamentos necessários para a execução desses ensaios consistem em um conjunto macaco-bomba-manômetro aferido, com respectiva curva de aferição; bomba de óleo manual ou elétrica; célula de carga (opcional); dispositivo para medição de deslocamentos, tais como régua graduada em milímetros, relógio comparador (extensômetro mecânico) com leitura de 0,1mm ou dispositivo equivalente elétrico/digital, conforme o tipo do ensaio; grade de apoio para o macaco, no caso deste

não se apoiar diretamente na placa de distribuição de cargas da cabeça do tirante; outros acessórios para distribuição de cargas ou fixação de instrumentos e referência fixa, conforme exemplificado nas Figuras 2.12 e 2.13.

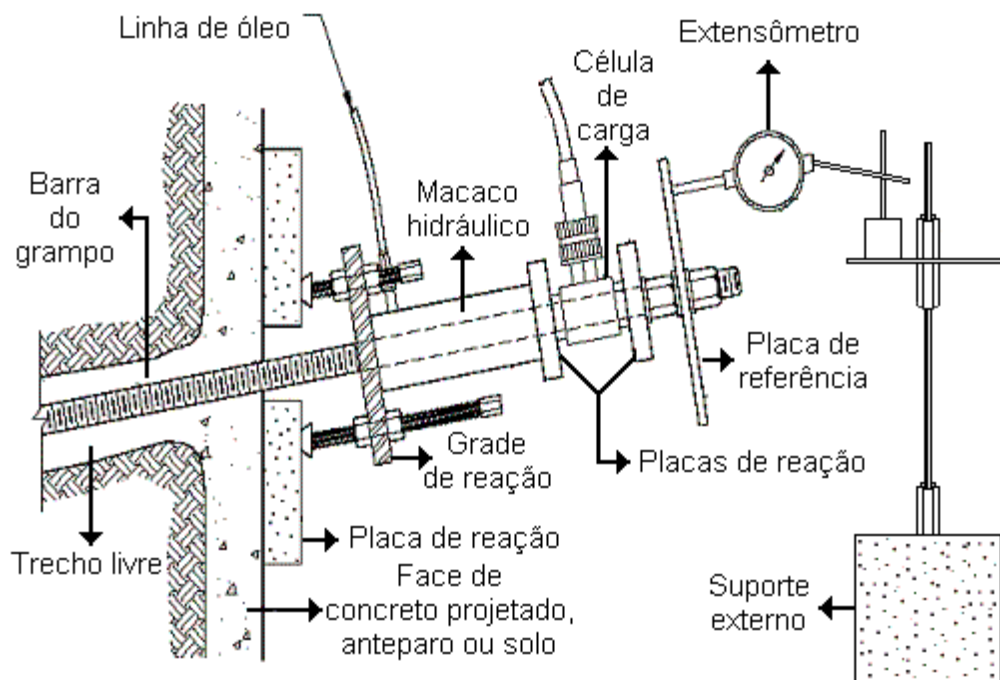


Figura 2.12 - Esquema da montagem e os equipamentos necessários para o ensaio de arrancamento (SPRINGER, 2006).

O eixo do macaco e o eixo do grampo devem estar alinhados. Os ensaios de arrancamento são realizados em grampos com um trecho inicial livre seguido de um trecho injetado. Deve-se garantir que não haja preenchimento de nata no trecho livre. Ao se aplicar o carregamento de tração no grampo, a face e o solo são submetidos à compressão. Caso haja preenchimento com nata, o trecho inicial do grampo estará sujeito à compressão, o que é indesejado. Portanto, é importante manter livre o trecho inicial do grampo no ensaio de arrancamento. Um exemplo de procedimento usado para garantia do trecho livre é mostrado na Figura 2.14.



Figura 2.13 - Montagem do ensaio de arrancamento de grampo (SPRINGER, 2006).



Figura 2.14 - Espuma úmida sendo enrolada na barra e amarrada com arame para garantia do trecho livre (SPRINGER, 2006).

Os ensaios devem ser executados após um tempo de cura mínimo, estabelecido em função das características do cimento ou outro aglutinante injetado no bulbo. Usualmente, o prazo para ensaio após a injeção utilizado na maioria dos cimentos do tipo Portland é de 7 dias.

Geralmente, a carga inicial do ensaio corresponde a 10% da força de escoamento do grampo, de forma a permitir um ajuste do sistema de montagem do macaco hidráulico. Assim, os deslocamentos que ocorrem em cargas menores que a inicial não são medidos.

AZAMBUJA et al. (2001) executaram ensaios de arrancamento com ciclos de carga e descarga nos grampos. O primeiro estágio de cada ensaio era iniciado com uma carga da ordem de 25% da carga de trabalho e os incrementos de carga subsequentes eram da mesma magnitude.

Segundo a GEORIO (1999), as cargas deverão ser aplicadas em pequenos estágios, que não excedam 20% da carga máxima esperada, aguardando-se pelo menos 30 minutos para estabilização das deformações. Durante este tempo, a carga é mantida constante e os deslocamentos são lidos a intervalos de 0, 1, 2, 4, 8, 15 minutos. Deverá ser executado pelo menos um ciclo de carga-descarga. A GEORIO (1999) sugere também executar pelo menos um ciclo de carga-descarga, que deverá ser iniciado quando a carga for da ordem da metade da carga total máxima esperada.

FALCONI et al. (1996) sugerem incrementos de 5kN, com 5 minutos em cada estágio de carga até a ruptura. SPRINGER (2006) recomenda incrementos de carga suficientemente pequenos (entre 5 e 10kN) para permitir um número adequado de leituras carga x deslocamento.

O valor de q_s é definido no ensaio de arrancamento por:

$$q_s = \frac{T}{\pi \cdot \phi_{furo} \cdot L} \quad \text{(Equação 2.4)}$$

Onde:

q_s : resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo;

T : força de tração máxima;

L : comprimento do trecho injetado do grampo;

ϕ_{furo} : diâmetro do furo.

Como no Brasil não há uma definição da quantidade de ensaios de arrancamento a serem executados para se determinar a resistência ao cisalhamento máxima de interface solo-grampo (qs), recomenda-se uma quantidade tal que garanta a representatividade dos resultados. FALCONI et al. (1996) propõem a realização de ensaios de arrancamento na proporção de um para cada dez grampos permanentes de uma massa de solo a ser estabilizada, podendo ser realizados antes da obra ou como controle (durante a obra).

GEORIO (1999) recomenda que os ensaios de arrancamento sejam realizados, durante a obra, em pelo menos dois grampos ou em 1% dos grampos da obra, para que sejam confirmados os valores de resistência qs especificados em projeto.

Por sua vez, ZIRLIS et al. (2003) sugerem a execução de ensaios de arrancamento em 10% do total de grampos previsto, ou numa quantidade tal que garanta a representatividade dos resultados. SPRINGER (2006) sugere uma quantidade mínima de um ensaio por fileira de reforços e a cada mudança de material constituinte do terreno.

Por fim, CLOUTERRE (1991) propõe a realização de ensaios para verificar qs de projeto e de ensaios de inspeção realizados durante a obra. Em relação aos ensaios de inspeção, são recomendados 5 ensaios para cada camada de solo e 1 ensaio para cada fase de escavação, em obras de até 1000 m² de face. Acima dessa área, recomenda aumentar 1 ensaio para cada 200 m². Em relação aos ensaios para verificar qs de projeto, a Tabela 2.1 resume as recomendações de CLOUTERRE (1991).

Tabela 2.1 - Número de ensaios de arrancamento recomendado por CLOUTERRE (1991) para verificação de q_s de projeto.

| Área da face (m ²) | Ensaio de arrancamento |
|--------------------------------|------------------------|
| Até 800 | 6 |
| 800 a 2000 | 9 |
| 2000 a 4000 | 12 |
| 4000 a 8000 | 15 |
| 8000 a 16000 | 18 |
| 16000 a 40000 | 25 |

2.7 Ensaio em Tirantes

A NBR 5629 (ABNT, 2006), que regula a execução de tirantes ancorados no terreno, indica tipo e quantidade de ensaios a serem realizados. Segundo a norma, ensaios de tirantes são todos os procedimentos executados para verificação do desempenho de uma ancoragem, classificados em: Ensaio de Recebimento, Qualificação, Fluência e Básico.

O Ensaio Básico é executado para a verificação da adequação de um tirante injetado, sendo observada principalmente a conformação do bulbo de ancoragem, a centralização do tirante no bulbo, a qualidade da injeção e a definição do comprimento livre do tirante, através de escavação deste. O ensaio básico se enquadra como “ensaio preliminar”, pois, na verdade, ele atua na verificação antecipada da eficiência geral do sistema de atirantamento.

O Ensaio de Qualificação é executado para a verificação, em um dado terreno, do desempenho do tirante injetado. Neste ensaio são verificados a capacidade de carga do tirante e seus deslocamentos sob carga. Calcula-se também o seu comprimento livre e se determina o atrito ao longo do comprimento livre, a partir dos deslocamentos observados. A execução do ensaio de qualificação deve ser realizada obrigatoriamente em 1% dos tirantes por obra, por tipo de terreno ou por tipo de tirante, com um mínimo de 2 ensaios por obra.

O Ensaio de Fluência é executado para a avaliação da estabilização do tirante sob a ação de cargas de longa duração.

Por fim, o Ensaio de Recebimento é executado para controlar a capacidade de carga e o comportamento de todos os tirantes de uma obra. Este ensaio é realizado em todas as ancoragens com o objetivo de constatar um valor mínimo do fator de segurança em relação às cargas de trabalho a serem instaladas. Quando o tirante atende às condições de aprovação, é feita a incorporação da carga no tirante, podendo variar de 80 a 100% da carga de trabalho de projeto.

De forma análoga aos ensaios de grampos, os ensaios de tirantes devem ser executados após um tempo de cura mínimo, função das características do cimento ou outro aglutinante injetado no bulbo. A carga inicial do ensaio corresponde a 10% da força de escoamento do tirante, de forma a permitir o ajuste do sistema de aplicação de carga, composto por placas, macaco hidráulico e célula de carga, caso usada para controle da força aplicada.

A partir do Ensaio Básico (ou até o de Qualificação, se o mesmo for levado à ruptura), pode ser obtida a resistência lateral mobilizada (q_s), ou resistência ao arrancamento do tirante. Esses ensaios e o ensaio de arrancamento em grampos têm metodologia semelhante: as ancoragens são submetidas a uma força crescente até a ruptura, e com base na força máxima obtém-se q_s .

2.8 Fatores de Influência de q_s

Alguns fatores podem influenciar os valores de q_s , destacando-se as características do terreno e a metodologia executiva dos furos, representada pelo tipo de perfuração, forma de limpeza do furo, processo de injeção, características da nata de cimento e o emprego de aditivos. Esses fatores variam bastante de acordo com a obra.

O tipo de ancoragem também pode influenciar a resistência ao arrancamento. Por exemplo, o tipo pode variar entre barras, cantoneiras ou tubos de aço, barras sintéticas de seção cilíndrica ou retangular, e podem ser instalados de diferentes formas, conforme já comentado.

CLOUTERRE (1991) investigou o atrito em vários tipos de grampos executados com diferentes métodos em areia. Os resultados mostraram que os grampos injetados sem pressão apresentaram uma grande variabilidade de atrito lateral quando comparados aos outros tipos de grampo. Grampos injetados com alta pressão desenvolvem maior

zona de plastificação e, portanto, apresentam maiores valores de atrito lateral ou de resistência ao cisalhamento. Grampos cravados apresentam maior valor de q_s quando comparados aos grampos simplesmente posicionados em pré-furos preenchidos com nata de cimento. Para o segundo caso, o processo de escavação altera as condições naturais do terreno, isto é, altera o estado de tensões do solo.

Grampos rugosos são capazes de mobilizar maiores esforços quando solicitados, maior resistência ao cisalhamento. A mobilização de momentos fletores nos grampos requer que o elemento de reforço possua certa rigidez. Deste modo, grampos flexíveis não podem mobilizar momentos fletores por oferecerem baixa rigidez transversal.

Em caso de grampos injetados, tipo mais comum no Brasil, a boa prática sugere que todo grampo/tirante receba, pelo menos, uma fase de reinjeção além da bainha. Diversas pesquisas corroboram essa afirmativa. PITTA et al. (2003), reportam cerca de 50% de aumento da resistência ao arrancamento nos ensaios com uma reinjeção, comparando com os ensaios só com bainha. No caso da realização de duas injeções também são observados aumentos expressivos em relação aos ensaios com apenas uma injeção.

SPRINGER (2006) concluiu que, em média, os grampos reinjetados têm um acréscimo de 50% na resistência e uma redução de 70% nas deformações em relação aos grampos com bainha. PACHECO SILVA (2009) fez diversos ensaios de campo e em escala reduzida, tendo observado um aumento significativo do parâmetro q_s nos casos com reinjeção. Nos ensaios de grampos curtos (3m injetados), foram observados aumentos gradativos para os grampos executados com o maior número de injeções.

Além do tipo de grampo, os resultados de SARÉ (2007) sugerem que q_s aumenta com o aumento do comprimento do grampo. PACHECO SILVA (2009) observa que ao duplicar o comprimento (de 3m para 6m), as cargas máximas aumentaram significativamente, sendo até 5 vezes maior nos grampos longos.

Porém, FEIJÓ (2007) conclui que, considerando-se um mesmo tipo de solo, os valores de q_s são praticamente constantes para os grampos de 3m e 6m injetados com nata de cimento, em ensaios de arrancamento executados em solos tropicais no Município do Rio de Janeiro. Ou seja, ainda não existe um consenso em relação ao efeito do comprimento do grampo no aumento da resistência ao arrancamento.

Em relação à inclinação dos grampos, SPRINGER (2006) defende que, em escavações ou taludes, os grampos devem ser instalados horizontalmente ou com pequena inclinação com a horizontal, para que apresentem um melhor comportamento quando tracionados. SPRINGER (2001) conclui que quanto menores os valores do ângulo de inclinação, menores são os deslocamentos horizontais e verticais. Além disso, a orientação do grampo em relação à superfície potencial de ruptura influencia a mobilização de tração e cisalhamento em estruturas de solo reforçado. O acréscimo de resistência conferido ao solo será máximo quando os grampos estiverem orientados na direção em que se desenvolvem as deformações principais de tração no solo.

FEIJÓ et al. (2006) variaram a inclinação dos grampos (5°, 15° e 30°), buscando verificar a influência dessas variações no comportamento global da obra. Os autores observaram que os deslocamentos e as forças de tração mobilizadas apresentam-se máximas na seção com grampos inclinados de 15°. Na prática, a tecnologia de instalação dos grampos permite que se adote ângulos de inclinação variando de 5 a 20°.

Em relação à profundidade de instalação, foi constatado experimentalmente que, em maciços homogêneos, a resistência ao arrancamento (q_s) é constante e não aumenta com a profundidade (CARTIER et al., 1983; SCHLOSSER, 1983; MITCHELL et al., 1987). Segundo esses autores, essa independência deve-se ao fato de que a redução do coeficiente de atrito aparente devido à redução da dilatância (expansibilidade) é compensada pelo incremento de tensão normal ao longo da profundidade.

Voltando seu trabalho para outros fatores de influência, SPRINGER (2006) comparou ensaios de grampos com furos lavados com água e limpos com ar comprimido. Observou que os ensaios com os furos lavados apresentaram uma resistência ao arrancamento em média 27% maior no caso de grampos apenas com bainha e 5% maior em caso de grampos reinjetados.

SPRINGER et al. (2001) analisaram a forma de fixação do grampo à parede, concluindo que o ponto de tração máxima varia em função desse parâmetro. As tensões nos grampos são máximas dentro da massa de solo grampeado para o caso de grampos livres (sem fixação à parede). No caso de grampo fixo, o ponto de tração máxima ocorre junto à face.

Em relação ao solo, o grau de saturação influencia a resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo. CLOUTERRE (1991) mostra que, no caso de solos arenosos, com uma parcela significativa de finos, a força máxima de arrancamento pode ser reduzida em mais de 50% quando o solo passa do ponto de umidade ótima até o ponto de saturação.

Também no caso de solos orgânicos ou solos argilosos que apresentam resistência ao cisalhamento não drenada menor que 50kPa, o aumento do grau de saturação pode reduzir significativamente o valor de q_s (PACHECO SILVA, 2009).

Portanto, conclui-se que a drenagem é um aspecto muito importante em estruturas de solo grampeado. Um sistema de drenagem adequado deve, além de proteger a face contra a erosão causada pela água, prevenir a geração de poropressões e saturação do solo. A prática usual recomenda a execução dos convencionais serviços de drenagem profunda (drenos sub-horizontais) e de superfície (barbacãs).

Segundo CARDOSO (1987), no caso de solos arenosos, a resistência da superfície de contato é fortemente condicionada pelas características de dilatância do material, que é função da densidade do maciço e do estado de tensões. Segundo o autor, a resistência ao arrancamento aumenta com a densidade do maciço e os coeficientes de atrito crescem com o aumento da tensão de confinamento.

SPRINGER (2001) concluiu que os parâmetros de coesão e ângulo de atrito são importantes nas análises dos grampos, pois a variação destes valores acarretam resultados bastante distintos de deslocamentos e de forças axiais nos grampos.

SOUZA (2001) analisou a influência da compactidade e consistência dos solos no grau de injetabilidade dos mesmos. Mostrou que solos argilosos muito moles e moles possuem um grau de injetabilidade alto. Já argilas rijas a duras possuem um grau de injetabilidade baixo. No caso de solos arenosos, reporta que a areia fina fofa possui um grau de injetabilidade mediano, ao passo que a areia média a grossa fofa possui um alto grau de injetabilidade. Esse resultado já era esperado, uma vez que os vazios em areias grossas são maiores que os vazios em areias finas. Por fim, o grau de injetabilidade em materiais arenosos compactos, de maneira geral, é baixo.

LIMA (2002) avaliou a influência da inclinação da face do talude nas escavações em solo grampeado. Ele concluiu que a influência da inclinação do talude é significativa

nos deslocamentos horizontais, os quais crescem à medida que o talude torna-se mais íngreme. Essa redução chega a 75% quando se passa de uma escavação vertical para uma inclinação de 80°. Pode-se entender que o aumento da inclinação do talude provoca um aumento das tensões solicitantes no grampo.

Com o avanço da escavação, e consequente descompressão lateral do solo, há um aumento nas solicitações axiais ao longo dos grampos. Porém, segundo LIMA (2002), em taludes cuja inclinação varia entre 60° e 70°, não há aumento considerável dos esforços axiais nos grampos durante todo o processo de escavação.

Por fim, o tempo também influencia no comportamento dos grampos. Quando os sistemas de reforço de solos são projetados como estruturas permanentes e por longo período de serviço, deve-se garantir a manutenção da capacidade resistente (q_s) dos reforços ao longo da vida útil da obra. Um dos principais problemas que afeta a durabilidade é a possibilidade da diminuição da seção transversal do grampo devido ao processo de corrosão. O potencial de corrosão de metais é determinado pelas quantidades de água e oxigênio no solo, bem como pela sua distribuição granulométrica. Características tais como a presença de água ou altos índices de umidade, baixa resistividade elétrica, valores de pH inferiores à 6 (solo ácido), presença de sais dissolvidos e grande quantidade de finos, podem gerar um aumento do potencial de corrosão do solo (ROEDEL et al., 2016).

No caso dos tirantes, a NBR 5629 (ABNT, 2006) apresenta uma tabela como sugestão de orientação preliminar de acordo com a classificação de agressividade dos meios (terrenos e águas freáticas). Usualmente, as medidas de proteção consistem no uso combinado de pintura de aço com produtos especiais, como resina epóxi, tintas betuminosas e envolvimento da ferragem por bainhas plásticas (PORTO, 2015).

No caso do grampo injetado, geralmente a própria camada de cimento (de pelo menos 20mm) fornece uma proteção considerável à barra metálica. Porém, em alguns casos, pode ser necessária proteção adicional, como por exemplo uma proteção simples contra a corrosão a critério do projeto, contemplando limpeza da barra e pintura dupla anticorrosiva.

Segundo GEORIO (1999), os chumbadores em rocha para a fixação de blocos, ou os que são empregados na estabilização de lascas em maciços fraturados, necessitam de

proteção especial contra a corrosão. Nos casos apresentados na Figura 2.15, o fraturamento, ou o contato entre dois blocos de rocha, ou mesmo o contato concreto-rocha, levam à perda de nata nessa região e com isto a barra de aço não é protegida. A passagem preferencial de água pelos contatos acelera a corrosão. A solução proposta pela GEORIO (1999) nesse caso é a proteção dupla com tubo plástico.

Ainda relacionado à vida útil da ancoragem, um dos grandes desafios geotécnicos é estimar com razoável grau de precisão a perda de carga nas ancoragens ao longo do tempo, também conhecida como fluência. Trata-se de problema não trivial, uma vez que é função de uma série de variáveis. As observações e monitoramento de obras em solo grampeado têm indicado que o fenômeno de *creep* ou fluência ocorre após o término da construção (CLOUTERRE, 1991). Este fenômeno acarreta aumento nos deslocamentos e nos esforços nos grampos, especialmente naqueles situados próximos à base da escavação.

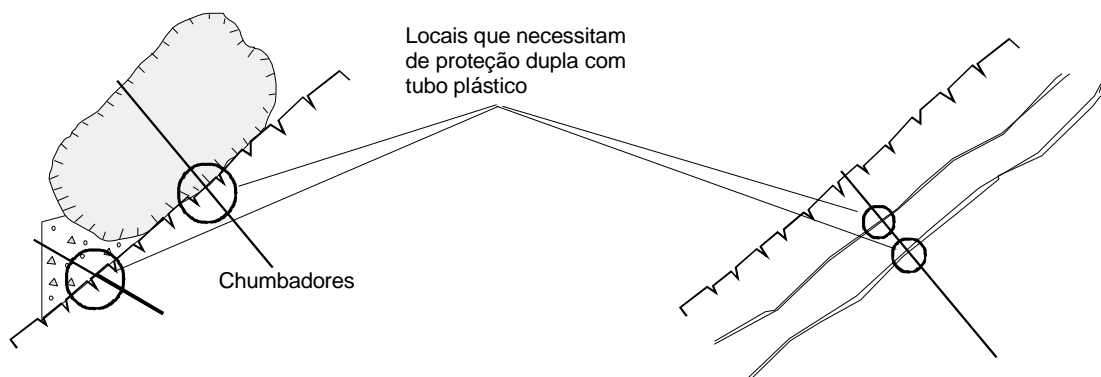


Figura 2.15 - Casos de chumbadores com proteções adicionais contra a corrosão (GEORIO, 1999).

2.9 Estimativas de q_s

Devido aos inúmeros fatores que influenciam q_s , os ensaios de arrancamento deveriam ser realizados antes da execução da obra para se definir o projeto, sendo avaliado o caso da obra em questão (e não um caso “semelhante”). No entanto, isso raramente ocorre em obras menores. Nestes casos, os ensaios, quando executados, são realizados durante a obra e o projeto deve ser ajustado à medida que se dispõe dos

resultados dos ensaios. Geralmente, os valores de q_s utilizados nas análises de projeto são fixados por correlações empíricas que levam em conta as características do material da encosta (descrição tátil-visual e N_{SPT} , principalmente) e resultados de ensaios de arrancamento em material semelhante, realizados em obras anteriores.

No caso de rochas, a norma NBR 5629 (ABNT, 2006) recomenda utilizar, no pré-dimensionamento do valor de q_s , o menor dos valores obtidos com as seguintes relações:

- a) $q_s < 1/30$ da resistência à compressão simples da rocha;
- b) $q_s < 1/30$ da resistência à compressão simples da argamassa.

Ainda no caso de maciço rochoso, LITTLEJOHN et al. (1977) sugerem que a tensão de aderência de trabalho média a ser utilizada nos projetos de ancoragem não deve ser superior à metade da resistência ao cisalhamento mínima da rocha, determinada por meio de ensaios de amostras representativas do maciço. Esta aproximação se aplica às rochas brandas onde a resistência à compressão uniaxial é inferior a 7MPa, e/ou para furo de sondagem executado por meio de rotação-percussão.

A Tabela 2.2, adaptada por SPRINGER (2006) a partir dos resultados de LITTLEJOHN et al. (1977), apresenta alguns valores típicos de tensão de aderência rocha-nata que são recomendados para projetos em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

Tabela 2.2 - Valores de tensão de aderência rocha-nata (SPRINGER, 2006).

| Classificação | | Aderência (MPa) | | Fator de segurança | Fonte |
|---------------|------------------------------------|-----------------|--------------|--------------------|-----------------------|
| | | τ_t | τ_{ult} | | |
| Ígneas | basalto de dureza média | - | 5,73 | 3,0 - 4,0 | Rao (1964) |
| | Basalto | 1,21 - 1,38 | 3,86 | 2,8 - 3,2 | Wycliffe-Jones (1974) |
| | Granito | 1,38 - 1,55 | 4,83 | 3,1 - 3,5 | |
| | serpentinito | 0,45 - 0,59 | 1,55 | 2,6 - 3,5 | |
| | granito e basalto | - | 1,72 - 3,10 | 1,5 - 2,5 | PCI (1974) |
| Metamórficas | xisto de Manhattan | 0,70 | 2,8 | 4,0 | White (1973) |
| | folhelho duro e estratificado | - | 0,83 - 1,38 | 2,5 - 2,5 | PCI (1974) |
| Sedimentares | calcáreo | 1,00 | 2,83 | 2,8 | Losinger (1966) |
| | calcáreo brando | - | 1,03 - 1,52 | 1,5 - 2,5 | PCI (1974) |
| | calcáreo dolomítico | - | 1,38 - 2,07 | 1,5 - 2,5 | |
| | Arenito | 2,45 | - | 1,75 | Coates (1970) |
| | arenito intemperizado | - | 0,69 - 0,85 | 3,0 | Irwin (1971) |
| | arenito duro de grãos finos | 0,69 - 0,83 | 2,24 | 2,7 - 3,3 | Wycliffe-Jones (1974) |
| Diversos | rocha fraca | 0,35 - 0,70 | - | - | Koch (1972) |
| | rocha média | 0,70 - 1,05 | - | - | |
| | rocha competente | 1,05 - 1,40 | - | - | |
| | rocha competente ($C_o > 20$ MPa) | $C_o/30$ | $C'_o/10$ | 3,0 | Littlejohn (1972) |
| | concreto | - | 1,38 - 2,76 | 1,5 - 2,5 | PCI (1974) |

PACHECO SILVA (2009) reúne alguns métodos de previsão de q_s a partir de modelos teóricos, cita-se SCHLOSSER (1982), JEWELL (1990), BRIDLE e BARR (1990) e HEYMANN et al. (1992), que usam como ponto de partida a equação de resistência ao cisalhamento do solo ($\tau = c + \sigma_n \tan \phi$). Para exemplificar, JEWELL (1990) apresenta a seguinte formulação para estimar a resistência ao arrancamento:

$$T = \pi D L_a \sigma'_r f_b \tan \phi' \quad (\text{Equação 2.5})$$

Onde:

T: força máxima de arrancamento;

D: diâmetro do elemento do reforço (barra de aço);

L_a : comprimento de ancoragem;

σ'_r : tensão normal efetiva média atuante sobre a circunferência do reforço;

f_b : coeficiente de aderência (1,0 para interfaces ásperas e 0,2-0,4 para interfaces lisas);

ϕ' : ângulo de atrito efetivo do solo.

BUSTAMANTE et al. (1985) apresentaram resultados de q_s para areias e argilas em função da pressão limite (p_l) obtida em ensaios com o pressiômetro Ménard (Figura 2.16). É fornecida também uma correlação entre os valores de p_l e do índice N_{SPT} . Os dados obtidos por BUSTAMANTE et al. (1985) incluem ensaios de arrancamento realizados em ancoragens com somente um estágio de injeção e nas de múltiplo estágio com tubo de injeção com válvula manchete.

A dispersão dos resultados é grande, bem como os valores elevados obtidos pela correlação entre p_l e N_{SPT} , certamente por procedimentos diferentes de ensaio nos diversos países onde os dados foram obtidos (GEORIO, 1999). É importante destacar que o valor de N_{SPT} varia em função da energia transmitida ao topo da composição de hastes, a qual varia com a prática de execução do ensaio nas diferentes partes do mundo. Por exemplo, no ensaio brasileiro, a energia potencial é equivalente a 478,2 J (um martelo de 65kgf caindo de uma altura de 0,75m). Segundo DANZIGER et al. (2008), a partir da energia potencial, ocorrem várias perdas até que a energia chegue ao amostrador. A energia adotada como referência internacional, conforme estabelecido pelo ISSMFE (1989), é equivalente a 284,4 J (60% da energia equivalente a uma altura de queda de 76cm e peso do martelo de 63,5kgf). Sendo assim, a correção de energia deve ser aplicada no uso de correlações internacionais com o valor N_{SPT} brasileiro.

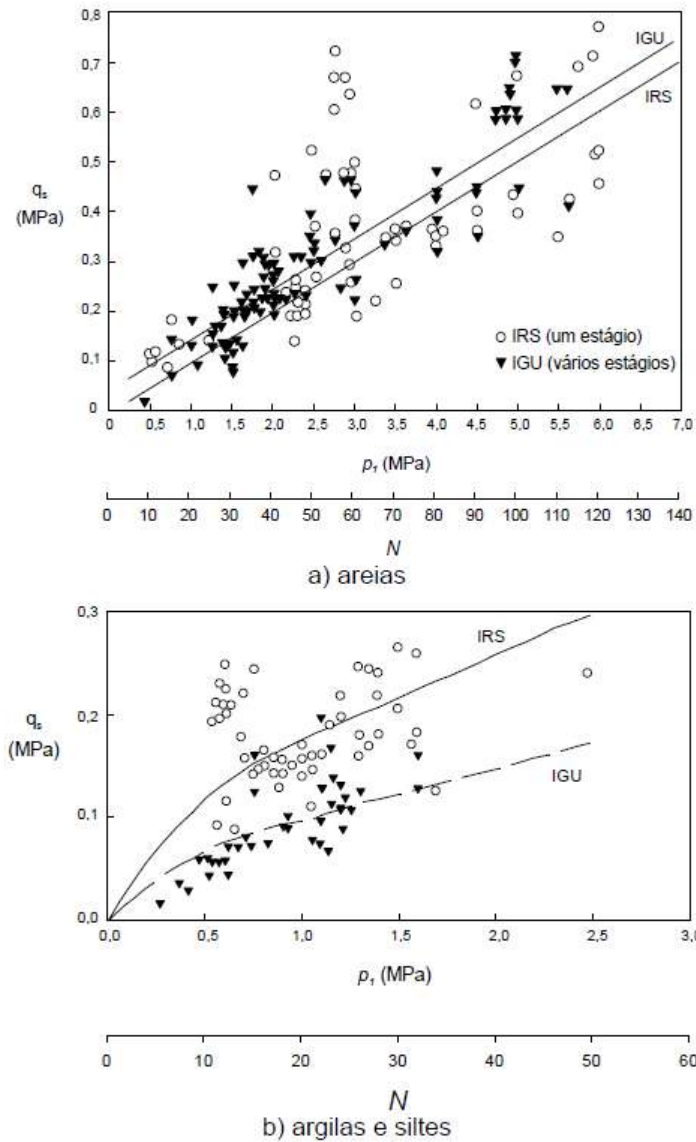


Figura 2.16 – Correlações para estimativa de q_s em função da pressão limite de ensaio pressiométrico e valor do N_{SPT} (BUSTAMANTE et al., 1985).

COSTA NUNES (1987) apresenta uma proposta analítica semelhante à formulação de BUSTAMANTE e DOIX (1985) com a diferença principal na definição da resistência ao cisalhamento (q_s) na interface bulbo-solo. O autor utiliza a superfície de ruptura proposta por Mohr-Coulomb para definição de q_s , chegando a seguinte expressão:

$$q_s = c + (\gamma h n_h + \sigma'_r) \tan \phi \quad (\text{Equação 2.6})$$

Onde:

$q_s = \tau$: aderência na ruptura ou resistência ao cisalhamento na interface solo-bulbo;

c : aderência entre a nata e o solo; face à irregularidade do bulbo, pode-se usar c igual à coesão real do solo;

γ : peso específico do solo;

h : profundidade do centro do bulbo;

n_h : fator de redução da profundidade (recomendado $n_h = 1$);

ϕ : ângulo de atrito do solo;

σ'_r : pressão residual efetiva de injeção no ponto médio do bulbo, que segundo Costa Nunes (1985) pode ser estimada como 50% da pressão de injeção aplicada.

CLOUTERRE (1991) também apresenta uma correlação de q_s com a pressão limite do pressiômetro de Ménard (p_1), para solos arenosos e argilosos. Eles realizaram 450 ensaios de arrancamento e sumariaram os resultados em função de cinco tipos de solos e duas metodologias de instalação dos grampos. Embora introduzidos valores de N_{SPT} , estas correlações têm pouca utilidade no Brasil onde raramente são realizados ensaios pressiométricos.

Ensaio de arrancamento realizados no Rio de Janeiro, São Paulo e Brasília foram analisados por ORTIGÃO E PALMEIRA (1997). Nestes ensaios, todos os grampos foram executados em furos com diâmetros entre 75 e 150mm com injeção de nata de cimento sem pressão. A partir dos resultados obtidos, eles sugerem a seguinte correlação:

$$q_s(kPa) = 50 + 7,5N_{SPT} \quad \text{(Equação 2.7)}$$

Os autores reportam que a dispersão dos resultados é grande, atribuindo esse fato aos diferentes procedimentos empregados por diferentes executores de grampos.

No mesmo ano, ORTIGÃO et al (1997) incluíram mais resultados de ensaios de arrancamento, provenientes da GeoRio, obtendo desta forma a correlação mostrada na Figura 2.17.

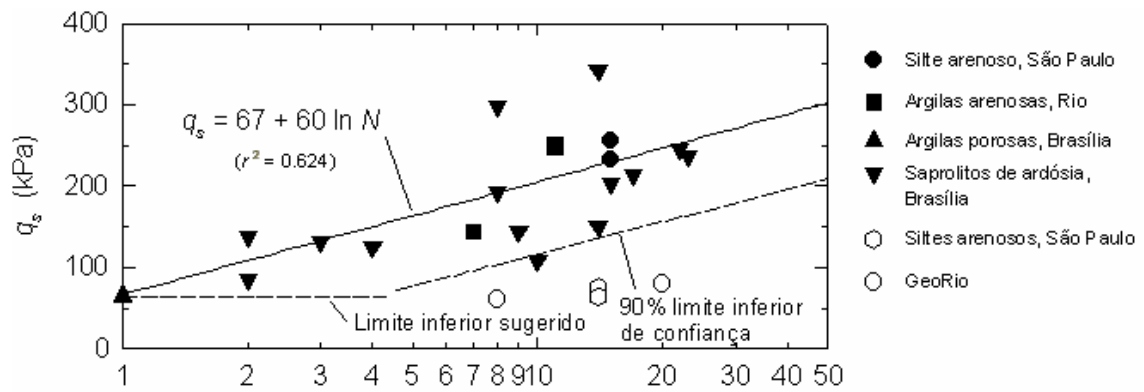


Figura 2.17 - Estimativa de q_s em função de N_{SPT} (ORTIGÃO et al, 1997).

SOUZA (2001) apresenta um método de cálculo simplificado para estimar a capacidade de carga de ruptura de ancoragens reinjetáveis e protendidas com diâmetro de furo variando de 10,2 a 14,0cm e com uma faixa de variação do resultado na ordem de 25%. A capacidade limite da ancoragem é dada pelas seguintes expressões:

$$T_L = (60 + 2N_{SPT})L_a \quad \text{para } 5 \leq N_{SPT} \leq 60 \text{ (Argila silto-arenosa)} \quad \text{(Equação 2.8)}$$

$$T_L = 6,4N_{SPT}L_a \quad \text{para } 5 \leq N_{SPT} \leq 35 \text{ (Areia argilosa)} \quad \text{(Equação 2.9)}$$

$$T_L = 4,5N_{SPT}L_a \quad \text{para } 5 \leq N_{SPT} \leq 40 \text{ (Silte areno-argiloso)} \quad \text{(Equação 2.10)}$$

Onde:

T_L : capacidade de carga do bulbo (kN);

N_{SPT} : número de golpes no ensaio SPT;

L_a : comprimento ancorado (m).

FALCONI (2005) apresenta um método de cálculo simplificado para estimar a capacidade de carga de ruptura de ancoragens reinjetáveis e protendidas. Esse método foi baseado inicialmente na formulação de capacidade de carga de estacas proposta por Decourt Quaresma para estaca raiz. A aderência na ruptura (q_s) é calculada em função do valor N_{SPT} por:

$$q_s = 15 \left(\frac{SPT}{3} + 1 \right) \quad (\text{Equação 2.11})$$

PROTO SILVA (2005) estabeleceu uma correlação para q_s em função dos parâmetros de resistência da interação solo/nata de cimento, conforme já comentado e explicitado na Equação 2.3. Em função dos parâmetros do solo, a Equação 2.3 resulta em:

$$q_s = \lambda_1^* \alpha (c' + \sigma_n \tan \phi') \quad (\text{Equação 2.12})$$

Onde:

q_s : resistência ao arrancamento;

λ_1^* : fator de carga para solo residual de gnaiss;

α : coeficiente de interface;

c' : coesão do solo;

σ_n : tensão normal aplicada ao grampo;

ϕ' : ângulo de atrito do solo.

As correlações de PROTO SILVA (2005) consideram um fator de carga que envolve um conjunto de condicionantes de interação solo/grampo, tais como fator de escala, interação física entre a nata de cimento e o solo, sucção dos solos não saturados, efeito tridimensional do grampo, condicionantes de projeto (espaçamento entre os grampos); efeitos da reinjeção dos grampos. No caso de solo residual gnáissico, o fator de carga pode ser determinado pela Figura 2.18 em função da tensão normal. Já o coeficiente de interface também está correlacionado, no caso do solo residual de gnaiss, com a tensão normal, pela seguinte equação:

$$\tau = \alpha (c' + \sigma_n \tan \phi') = c'_a + \sigma_n \tan \delta' \rightarrow \alpha = \frac{c'_a + \sigma_n \tan \delta'}{c' + \sigma_n \tan \phi'} \quad (\text{Equação 2.13})$$

Onde:

α : coeficiente de interface

c'_a : adesão solo/ nata de cimento;

σ_n : tensão normal aplicada ao grampo;

δ' : ângulo de atrito na interface solo/ nata de cimento;

c' : coesão do solo;

ϕ' : ângulo de atrito do solo.

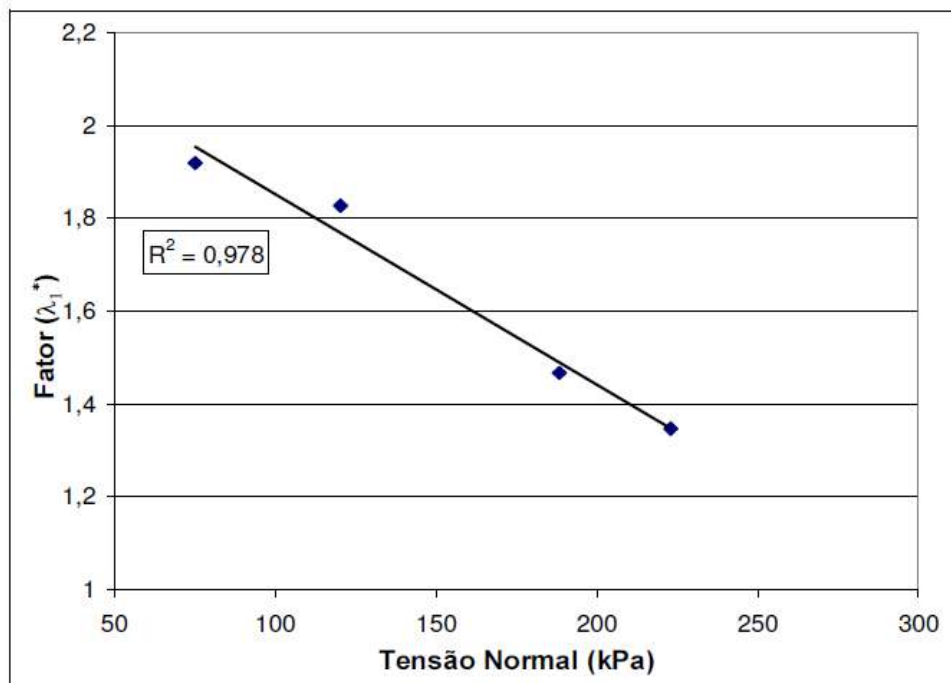


Figura 2.18 - Fator de λ_1^* em função da tensão nominal para solo residual de gnaiss (PROTO SILVA, 2005).

SPRINGER (2006) apresentou uma correlação empírica para q_s , em função de N_{SPT} , a partir de uma série de ensaios de arrancamento em solo residual de gnaiss:

$$q_s = 45,12 \ln N_{SPT} - 14,99 \quad (\text{Equação 2.14})$$

Em solos, a Norma Brasileira NBR 5629 (ABNT, 2006) apresenta como estimativa inicial da capacidade de ancoragens as expressões:

$$T = \sigma' U L_a K_f \quad \text{para solo granular} \quad (\text{Equação 2.15})$$

$$T = \alpha U L_a S_u \quad \text{para solo argiloso} \quad (\text{Equação 2.16})$$

Onde:

T : capacidade de carga limite da ancoragem (kN);

σ' : tensão vertical efetiva no ponto médio do bulbo;

U : perímetro médio da seção transversal do bulbo de ancoragem;

L_a : comprimento do bulbo de ancoragem;

K_f : coeficiente de ancoragem tabelado;

S_u : resistência ao cisalhamento não drenado do solo argiloso

α : coeficiente redutor da resistência ao cisalhamento, $\alpha = 0,75$ para $S_u \leq 40\text{kPa}$ e $\alpha = 0,35$ para $S_u \geq 100\text{kPa}$.

BELONI (2010) propôs uma correlação empírica para q_s , baseada nos resultados de ensaios dilatométricos (DMT). Segundo a análise estatística realizada pelo autor, a proposição pode ser utilizada na estimativa de q_s , já que $R^2=0,5077$, ou seja 50,77% dos valores obtidos para q_s mostraram relação direta com a pressão dilatométrica p_0 . A relação proposta é a seguinte:

$$q_s = 18,044 \ln(p_0) - 22,801 \quad (\text{Equação 2.17})$$

Onde p_0 é a pressão obtida no ensaio DMT.

CARVALHO (2009) fez um resumo da resistência ao cisalhamento (q_s) desenvolvida na interface entre o trecho ancorado do tirante e o terreno adjacente (solo e rocha) apresentada por instituições americanas e diversas referências mundiais, tais

como HABIB (1989), PTI (1996) e FHWA (SABATINI et al., 1999), conforme mostrado nas Figuras 2.19 e 2.20.

PORTO (2015) analisou diferentes ensaios de tirantes executados em São Paulo, obtendo a seguinte relação para a resistência ao arrancamento:

$$q_s = 10k \left(\frac{N_{SPT}}{3} + 1 \right) \quad (\text{Equação 2.18})$$

Sendo k um coeficiente de ancoragem (kN/m²) que varia com o tipo de solo, conforme a Tabela 2.3.

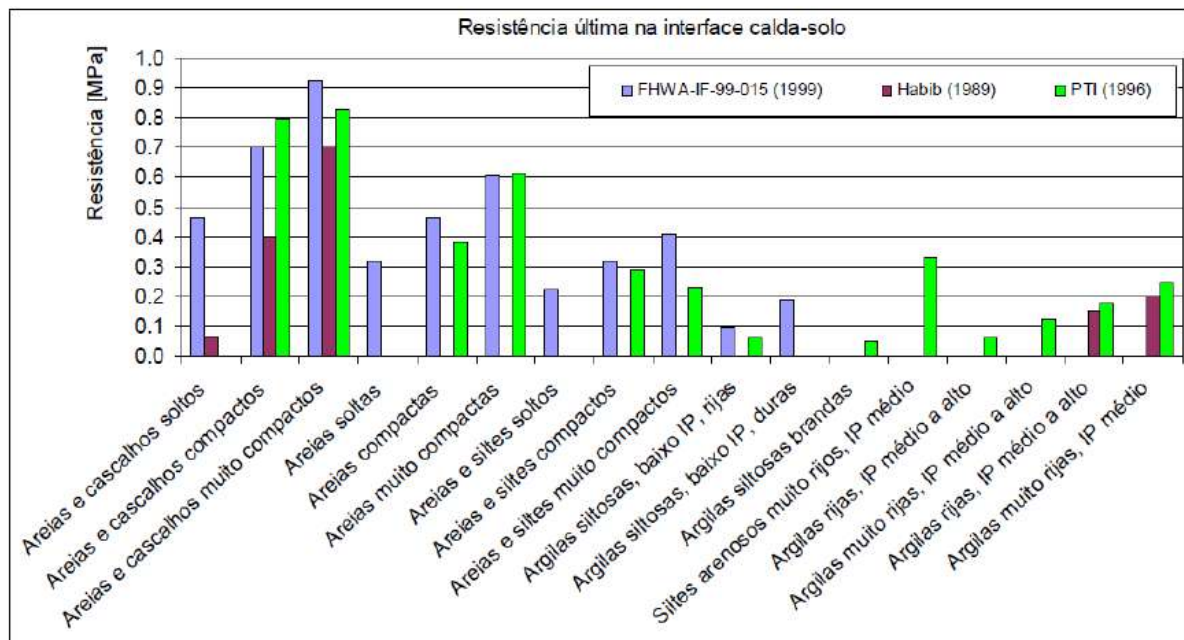


Figura 2.19 - Valores de q_s em solos recomendados pela bibliografia internacional (CARVALHO, 2009).

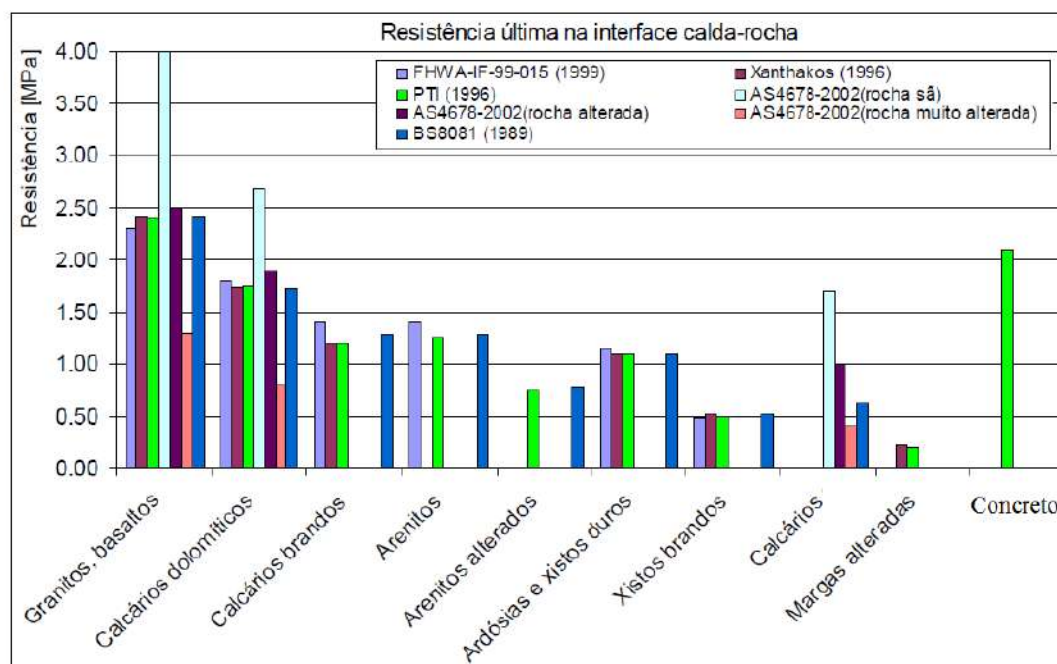


Figura 2.20 - Valores de q_s em rochas recomendados na bibliografia internacional (CARVALHO, 2009).

Tabela 2.3 - Valores de k de acordo com o tipo de solo (adaptado de PORTO, 2015).

| Solo predominante | Valores de K (kN/m ²) | |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------|
| | Valores com 80% de confiança | Valor mais provável |
| Argila siltosa | 1,2 a 1,29 | 1,25 |
| Argila arenosa | 0,9 a 1,01 | 0,95 |
| Silte argiloso | 2,37 a 2,77 | 2,57 |
| Silte* | 2,04 a 2,28 | 2,16 |
| Silte arenoso | 1,7 a 1,78 | 1,74 |
| Areia argilosa | 2,57 a 2,77 | 2,67 |
| Areia siltosa | 2,10 a 2,37 | 2,24 |

Legenda: * Resultados inferidos

Ainda, alguns autores buscam obter o valor de q_s em função da curva carga-recalque obtidas dos resultados de ensaios de recebimento de tirantes. O método de VAN-DER-VEEN (1953), comumente utilizado, supõe que a curva carga-recalque seja representada por uma função exponencial e, a partir desta hipótese, propõe a seguinte expressão:

$$Q = Q_{ult} * (1 - e^{-(\alpha r + \beta)}) \quad (\text{Equação 2.19})$$

Onde:

Q : carga vertical aplicada em determinado estágio de carregamento;

r : recalque correspondente medido no topo;

α e β : coeficientes obtidos a partir da regressão linear considerando várias etapas de carregamento.

Com base nessa equação, considerando diversas etapas de carregamento, pode-se obter a carga vertical última, e, por consequência, q_s .

Como conclusão, uma parte das correlações apresentadas na literatura foram obtidas a partir de ensaios realizados pelos autores, havendo a necessidade de agrupar esses ensaios para que se possam obter valores representativos para uma estimativa preliminar de q_s em um determinado projeto típico de grampeamento. EHRLICH et al. (2012) analisaram os dados encontrados na literatura, procurando possíveis correlações entre a resistência ao arrancamento (q_s), N_{SPT} e o número de injeções. Concluíram que não foi observada uma correlação simples entre q_s e o valor de N_{SPT} , além de explicitarem a necessidade de aumentar o banco de dados por eles considerado. GERSCOVICH et al. (2013) também analisaram vários resultados de ensaios de arrancamento de diversos autores e concluíram que as correlações de ORTIGÃO et al. (1997) e SPRINGER (2006) tendem a fornecer um limite superior e inferior, respectivamente.

3. Metodologia

3.1 Informações levantadas

Um dos objetivos desse trabalho é fazer um levantamento completo dos ensaios, realizados no Brasil, que forneçam dados experimentais da resistência ao arrancamento - qs. Sendo assim, foi realizada uma ampla pesquisa de ensaios de arrancamento de grampos, chumbadores e tirantes, preferencialmente os que atingiram a ruptura.

Os ensaios foram catalogados, organizando as principais informações em forma de tabelas, em função da referência e local da obra. SPRINGER (2006) propõe um modelo de tabela com as principais informações dos grampos, mostrado na Figura 3.1.

Sendo assim, buscou-se, para a análise dos resultados, as principais informações encontradas na maioria dos trabalhos da bibliografia e que influenciassem no resultado de qs. As informações selecionadas para compor a tabela foram as seguintes:

- a) Local da obra: rua, região ou cidade, conforme caracterização do autor;
- b) Tipo de reforço: grampo, chumbador ou tirante;
- c) Tipo de solo: identificação do tipo de solo do ensaio de arrancamento, segundo informações de sondagens ou resultados de ensaios de granulometria;
- d) Peso específico do solo: utilizado como mais uma indicação do tipo de solo;
- e) Ângulo de atrito e coesão do solo efetivos: devido à importância desses parâmetros de resistência do solo, os mesmos foram catalogados de acordo com valores adotados pelo autor do trabalho, na grande maioria baseado em ensaios de laboratório (cisalhamento direto ou triaxial) com a umidade natural do solo;
- f) Nível d'água: quando citado no trabalho, foi indicada a existência ou não de nível d'água;
- g) N_{SPT} : parâmetro importante nas correlações empíricas, procurou-se obter as sondagens SPT na área de realização dos ensaios;
- h) Tipo de aço e diâmetro da barra (ϕ aço) no reforço: como uma referência da força de escoamento do grampo, foram catalogados os tipos e diâmetros do aço adotado no reforço;
- i) Diâmetro do furo (ϕ furo): fornece o diâmetro teórico do reforço;

- j) Ângulo de Inclinação dos reforços com a horizontal: conforme já comentado, estudos indicam que a inclinação dos reforços altera o valor de q_s ;
- k) Comprimento do trecho livre (L livre): o levantamento desse parâmetro teve o objetivo de fornecer uma referência do tamanho total do grampo e do furo no terreno;
- l) Método de perfuração: podendo ser executado com água ou ar comprimido, esta informação foi registrada, apesar da pouca influência no resultado de q_s , conforme observado anteriormente;
- m) Profundidade: a tensão vertical no grampo pode afetar os resultados de q_s e desta forma, foram catalogadas as informações disponíveis de cota ou profundidade dos ensaios de arrancamento;
- n) Incremento de carga: quando reportadas, foram catalogadas as informações relativas ao método de carregamento do ensaio de arrancamento, procurando identificar uma metodologia mais comum;
- o) Célula de carga e sistema de aquisição de dados: quando informado, buscou-se catalogar essas informações como uma indicação da confiabilidade do resultado;
- p) Comprimento do trecho injetado: parâmetro fundamental para o cálculo de q_s , que foi catalogado para cada ensaio;
- q) Número de injeções: conforme comentado, esse parâmetro mostrou-se significativo para a resistência ao arrancamento e foi reportado para cada ensaio. Define-se que uma injeção é equivalente à bainha, duas injeções representam bainha mais uma reinjeção, e assim sucessivamente;
- r) Resultados do ensaio: são reportados carga de ruptura (ou carga máxima do ensaio), deslocamento no início da ruptura (ou deslocamento máximo do ensaio) e resistência ao arrancamento q_s (ou resistência máxima do ensaio).

Essas informações resultaram na tabela-modelo apresentada na Figura 3.2.

| Características do local de ensaio | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|-------------------------------|--|---|-----------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Local da Obra | | | Nível d'água | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Características do solo | | | | | | | | | |
| Tipo | Peso específico | | Ângulo (efetivo) de atrito | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Coesão (efetiva) | Coeficiente de Poisson | | Módulo de Young | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Características do grampo | | | | | | | | | |
| Aço | Tensão de trabalho do grampo | Escoamento do aço | | | | | | | |
| | | Carga | Tensão | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Diâmetro da barra | Diâmetro do Furo | Inclinação dos grampos | Espessura da parede | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Injeção | | Intervalo de tempo entre as injeções | Tempo de cura dos grampos arrancados | | | | | | |
| Tipo | Fator água / cimento | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Espaçamento entre as válvulas de injeção | Comprimento do trecho injetado | Comprimento do trecho livre | Intervalo entre centralizadores / espaçadores | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Método de limpeza do furo (água ou ar) | Método de perfuração | Tipo de mangueira utilizada na re-injeção | Profundidade de Confinamento | | | | | | |
| ND | ND | ND | ND | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Características do ensaio de arrancamento | | | | | | | | | |
| Incremento de carga | Capacidade nominal do conjunto bomba-macaco hidráulico | Bomba de injeção de calda | | Célula de carga | Extensômetro analógico | | | | |
| | | Pressão de Injeção | Volume | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Resolução do extensômetro analógico | | Strain gages | | Sistema de aquisição de dados | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Resultados dos ensaios de arrancamento | | | | | | | | | |
| N° | N° de injeções | Carga de ruptura | | | Deslocamento do grampo no início do arrancamento | Ganho médio de resistência com a re-injeção | Resistência ao arrancamento | | |
| | | Do grampo | Por metro linear | Carga média de ruptura | | | q _s | q _s médio | Ganho médio de q _s |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Figura 3.1 - Tabela de copilação de dados de ensaios de arrancamento de SPRINGER (2006).

| Local | | | | | | | Resultados | | | | | |
|------------------------|-------------------|----------------------|-----------------|--------------------|------------------|--|-----------------|----------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|----------|
| Tipo de reforço | | | | | | | | | | | | |
| Solo | | | | | | | Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m3) | Ângulo de atrito (o) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Grampo | | | | | | | | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (o) | L livre (m) | Profundidade (m) | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | | | | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Figura 3.2 - Tabela-modelo de compilação de resultados de ensaios utilizada para composição do banco de dados da pesquisa.

Inicialmente, algumas outras informações constariam na tabela do banco de dados, tais como fator água-cimento e pressão de injeção dos furos. Porém, optou-se pela retirada dessas informações, pois as variações observadas na literatura são pequenas. O fator água-cimento, em geral, varia em torno de 0,5. As pressões de injeção dos furos em geral são nulas no caso de bainhas, e no caso de reinjeção são baixas (até 5MPa). As exceções são especialmente informadas na tabela de dados de ensaios.

Salienta-se também que todos os reforços são injetados, e em geral são compostos por barras de aço. Caso isso não se aplique, essa informação constará no campo correspondente ao aço da tabela. A coleta de dados da literatura abrangeu resultados de ensaios de grampos, chumbadores e tirantes.

Cabe ainda salientar que, quando as informações disponibilizadas na literatura permitiam o cálculo de q_s , este valor foi verificado na presente pesquisa por meio da Equação 2.4, apresentada anteriormente. Caso o valor calculado não coincida com o valor apresentado pelo autor do trabalho (diferença de até 5%), os dois valores são reportados no banco de dados. O valor calculado nesta pesquisa é identificado como aquele entre parênteses, ao lado do valor reportado pelo autor do trabalho.

Note-se também que vários trabalhos da literatura não fornecem as informações necessárias para o cálculo independente de q_s . Desta forma, a verificação de valores de q_s não pôde ser sistemática. Por fim, destaca-se que o valor utilizado pelo autor do

trabalho foi preponderante e utilizado nas análises, em prejuízo ao qs calculado no presente trabalho.

3.2 Banco de Dados

ORTIGÃO et al. (1992) apresentam os resultados pioneiros de obra de estabilização executada por meio da técnica de solo grampeado no Morro da Formiga, RJ. O solo da região é residual silto-arenoso. Foram executados três ensaios de arrancamento, sendo que no primeiro ocorreu escoamento da barra de aço. Os resultados dos ensaios de arrancamento são apresentados no Anexo I (Tabela A1.1).

LEMOS (1994) realizou ensaios de arrancamento em chumbadores instalados em rocha sã no Rio de Janeiro. Os ensaios, cujos resultados são apresentados na Tabela A.1.2 do Anexo I, mostraram valores muito altos, da ordem de 2MPa. Como esses resultados são característicos de rocha sã e não foram observados outros resultados no banco de dados com essa ordem de grandeza, optou-se por não incluir esses valores nas análises.

ORTIGÃO et al. (1997) apresentaram ensaios de arrancamento em grampos injetados no Rio de Janeiro, São Paulo e Brasília. Os grampos foram instalados por diferentes executores, com procedimentos diferentes e furos com diâmetros entre 75 e 150mm. Os resultados desses ensaios são apresentados nas Tabelas A1.3 a A1.8 do Anexo I, separados de acordo com o local da obra.

GOTLIEB et al. (1997) reportam a estabilização em solo grampeado aplicada ao talude do pátio de uma indústria próxima a cidade de Embu, São Paulo. Na região, o solo é formado basicamente de uma camada de silte arenoso sobre argila arenosa. Para verificar qs, foram realizados seis ensaios de arrancamento, mas no trabalho só foram explicitados os menores valores obtidos em três ensaios, 29kPa. As informações e os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela A1.9 (Anexo I). Não foram explicitados o número de injeções realizadas para execução dos grampos, mas acredita-se que os ensaios tenham sido realizados apenas com bainha, correspondente à prática corriqueira da época.

FEIJÓ et al. (2001) realizaram uma campanha envolvendo 20 ensaios de arrancamento de grampos injetados em perfis de solos residuais de biotita-gnaiss, em

Jacarepaguá, e de gnaiss-leptinitico, em Laranjeiras, ambos no município do Rio de Janeiro. Foram utilizados grampos com comprimentos de 3 e 6m, para se avaliar o efeito do comprimento no valor da resistência ao arrancamento (q_s). Os resultados dos ensaios de arrancamento são apresentados na Tabela A1.10 e na Tabela A1.11 (Anexo I), separados por tipo de solo ou local da obra. Esses ensaios também foram reportados em FEIJÓ et al. (2005), FEIJÓ et al. (2006) e FEIJÓ (2007).

EHRLICH et al. (2001) analisaram os chumbadores do Morro da Urca, Rio de Janeiro. Foram dadas informações de ruptura em um chumbador e essas informações estão consolidadas na Tabela A1.12 (Anexo I). Porém, esse trabalho não será usado para fins de análise, pois não é possível obter o valor de q_s com os dados fornecidos pelos autores.

PINTO et al. (2001) apresentam algumas soluções de contenção no Lote 2 da Linha Amarela, RJ, destacando-se a de solo grampeado. O solo da região é um solo residual típico do Rio de Janeiro. Foram realizados três ensaios de arrancamento, que são apresentados na Tabela A1.13 do Anexo I.

AZAMBUJA et al. (2001) relatam o desenvolvimento do projeto de um sistema de contenção em solo grampeado numa escavação profunda (tipo caixão) em Porto Alegre, RS. Na região, existe predominantemente solo residual de paragnaisse, mas foi observado um dique de riolito na face leste da escavação (com descontinuidades impregnadas de argila). Foram realizados seis ensaios de arrancamento em diferentes profundidades, apresentados na Tabela A1.14 do Anexo I. Os mesmos ensaios também foram citados em AZAMBUJA et al. (2003). A Figura 3.3 representa os ciclos de carga e descarga utilizados durante os ensaios de arrancamentos.

PITTA et al. (2003) apresentaram resultados de ensaios de arrancamento realizados em 5 obras diferentes na cidade de São Paulo, com finalidade de se avaliar a influência da quantidade de fases de injeção do grampo. A obra realizada no Hospital Beneficência Portuguesa é mostrada na Figura 3.4. Eles observaram um aumento da resistência ao arrancamento do grampo com o aumento do número de injeções. Os resultados são apresentados nas Tabelas A1.15 a A1.19 (Anexo I), separados de acordo com a obra. Alguns desses ensaios já haviam sido citados anteriormente em PITTA et al. (2000).

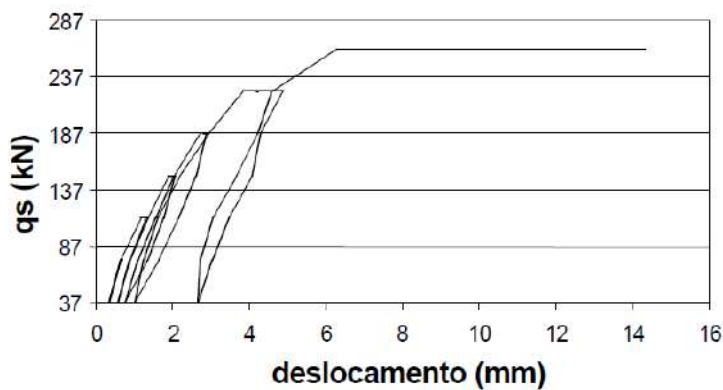


Figura 3.3 – Ciclos de carga durante o ensaio de arrancamento (AZAMBUJA et al., 2001).



Figura 3.4 – Vista geral da obra do Hospital Beneficência Portuguesa com ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003).

SOARES et al. (2003) executaram ensaios de arrancamento de grampos em um talude rodoviário localizado a montante da Usina Nuclear de Angra dos Reis, estado do Rio de Janeiro. Inicialmente foram executados quatro ensaios de arrancamento, após um ciclo de carga e descarga (até 93kN), em grampos com comprimento de 3m (Grampos 1, 2, 33 e 44). Posteriormente, foram realizados mais dois ensaios de grampos com comprimento de 5m (Grampos 3 e 4). O ensaio do Grampo 3 não foi levado à ruptura, tendo sido interrompido quando ocorreu o afundamento da placa de apoio (com carga de 206kN). O Grampo 4 apresentou problemas relativos à injeção, sendo

desconsiderado pelos autores. Todos os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela A1.20 do Anexo I.

MORAES et al. (2003) reportaram resultados de ensaios de arrancamento de grampos realizados em encosta na borda de um platô, no distrito industrial da Zona Franca de Manaus, no estado do Amazonas, conforme ilustrado na Figura 3.5. Foram realizados dois ensaios no solo areno-argiloso, com resultados muito semelhantes, com carga de ruptura igual a 84kN. Em um dos ensaios, foi realizado um ciclo de carga-descarga ao se atingir aproximadamente a metade da carga máxima esperada, que aparentemente teve pouca ou nenhuma influência no resultado (pois os dois ensaios tiveram resultados semelhantes). Os resultados desses ensaios são sumariados na Tabela A1.21 do Anexo I.



Figura 3.5 – Montagem do ensaio de arrancamento do grampo do painel VI (MORAES et al., 2003).

ALONSO et al. (2003) descrevem uma solução de estabilização de talude junto à Av. Wenceslau Brás, que serve de ligação entre as cidades de Poços de Caldas e Belo Horizonte. É mencionado no trabalho que foram realizados dois ensaios de arrancamento em solo residual de silte areno-argiloso que confirmaram o valor de q_s

adotado no projeto, igual a 50kPa. As informações disponíveis desses ensaios são apresentadas na Tabela A1.22 (Anexo I).

LOZANO et al. (2003) apresentam diversos casos de obras em solo grampeado, sendo que apenas um deles tem informações de ensaios de arrancamento. São dois ensaios em solo residual e alteração de rocha de granito, cujas características e resultados são resumidas na Tabela A1.23 do Anexo I. Não foi informado o número de injeções realizadas nos chumbadores/grampos no ensaio de arrancamento. Porém, os autores afirmam que “seja indispensável uma fase de reinjeção após execução da bainha”. Então, considerou-se que foram realizadas duas injeções (bainha +1 injeção).

OLIVEIRA et al. (2004) reportam a solução em solo grampeado para execução das obras de contenção de um caso de ruptura de um talude de cerca de 15 m de altura em Cotia, SP. Na localidade existe solo residual de granito, correspondente a uma areia silto-argilosa. Foram realizados quatro ensaios de arrancamento na área do reforço (grampos setor 04 e setor 07) e mais quatro ensaios em duas áreas distintas fora do talude (grampos 1 a 4), sendo que metade dos ensaios foram realizados em grampos executados somente com bainha e outra metade em grampos executados com bainha e reinjeção. Os resultados desses ensaios foram reunidos na Tabela A1.24 do Anexo I. Em um dos ensaios, foi observada uma discrepância entre o valor de q_s calculado com as informações fornecidas e o valor de q_s publicado no trabalho. O valor calculado pela autora consta entre parênteses.

SOUZA et al. (2005) realizaram seis ensaios de arrancamento de grampos no Campo de Provas da SOLOTRAT. Os grampos foram executados em solo residual silto-arenoso, sendo dois grampos só com bainha, dois com bainha e uma reinjeção e dois com bainha e duas reinjeções. Os resultados são apresentados na Tabela A1.25 (Anexo I) e mostram que a reinjeção aumenta o valor de q_s em relação ao do grampo executado somente com bainha.

PROTO SILVA (2005) avaliou a resistência ao arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss na cidade de Niterói / RJ, próximo ao Museu de Arte Moderna (MAC). A dissertação faz parte do conjunto de pesquisas do Grupo Solo Grampeado da PUC-COPPE e o local da obra foi denominado de Museu I, devido à proximidade do MAC. Ele realizou 8 ensaios de arrancamento de grampos de 3m de comprimento ancorados com bainha e injeção em quatro cotas diferentes ao longo do talude escavado

de grande altura, ilustrado na Figura 3.6. Considerando a variação do solo em função da cota, os ensaios foram separados e apresentados em duas tabelas distintas pelo tipo de solo, Tabelas A1.26 e A1.27 do Anexo I. A Figura 3.7 apresenta o resultado de um dos ensaios de arrancamento realizado pelo autor.

OLIVEIRA et al. (2005) realizaram dois ensaios de arrancamento no aterro de uma rodovia estadual, com solo silto-argiloso, localizado no Município de São Pedro de Alcântara - SC, cruzamento do Gasoduto Bolívia-Brasil, conforme mostrado na Figura 3.8. Os ensaios foram executados em grampos de 3,5m de comprimento, um na crista e outro na base do talude, e não atingiram a ruptura. As informações são apresentadas na Tabela A1.28 (Anexo I). Além desses ensaios, OLIVEIRA (2006) reporta resultados de mais um ensaio de arrancamento, executado em um grampo de comprimento menor e igual a 1,0m, que também foi interrompido antes de atingir a ruptura. Tendo em vista que o ensaio foi realizado no mesmo aterro e com as mesmas condições, ele é apresentado na mesma tabela.



Figura 3.6 – Vista da escavação mostrando as diferentes bancadas onde foram realizados ensaios de arrancamento (PROTO SILVA, 2005).

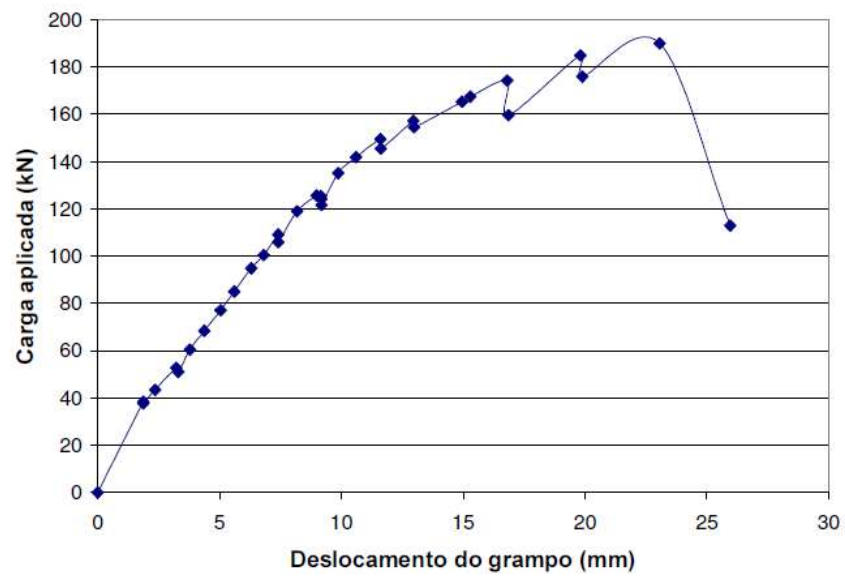


Figura 3.7 – Gráfico Carga aplicada x deslocamento do grampo instrumentado AR03 (PROTO SILVA, 2005).

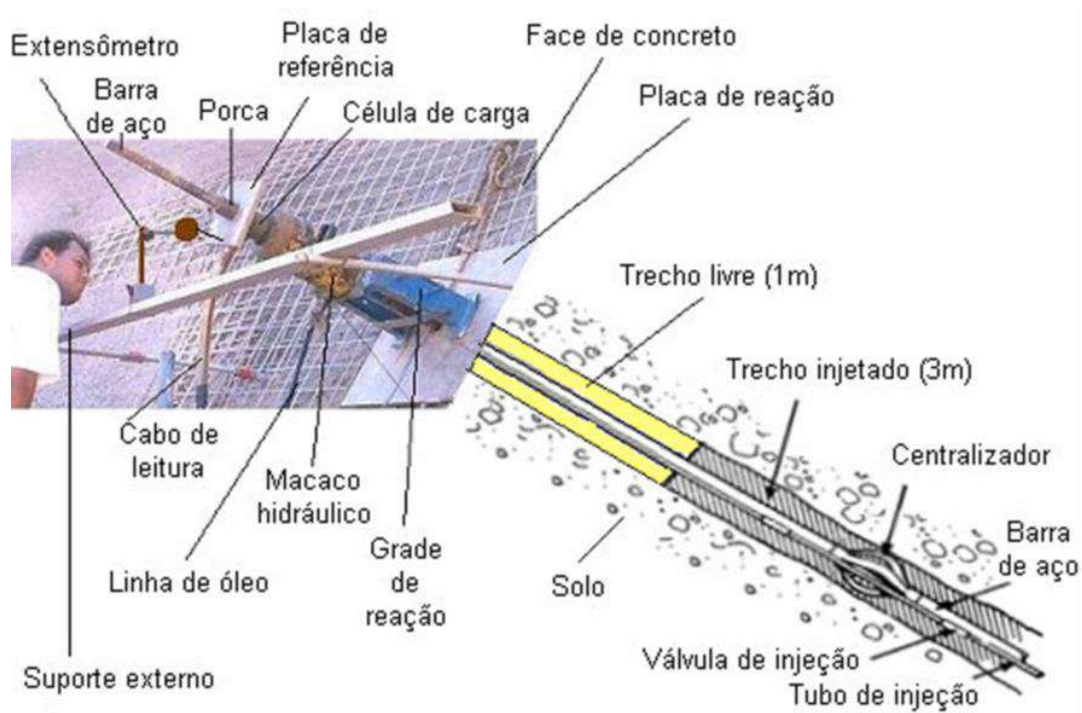


Figura 3.8 – Montagem do ensaio de arrancamento de grampo (OLIVEIRA, 2006).

MAGALHÃES (2005) estudou a utilização de grampos não convencionais, reforçados com fibras de polipropileno, na técnica de solo grampeado. Porém, para comparação, foram realizados dois ensaios de arrancamento em grampos convencionais moldados em cotas distintas do talude da obra de solo grampeado em solo residual silte areno-argiloso, no município de Niterói, RJ, ao lado do MAC, denominada Museu I. Todos os grampos foram executados com bainha e uma reinjeção. Apesar dos dois ensaios terem sido realizados no mesmo talude, observou-se que o maciço apresentava um perfil de intemperismo típico em função da cota. Desta forma, os ensaios foram realizados em solo residual jovem e maduro e os resultados são apresentados na Tabela A1.29 do Anexo I.

SPRINGER (2006) estudou a influência de diversos fatores na resistência (q_s), tais como o tempo de cura da nata de cimento, o número de injeções e a lavagem do furo. Sua pesquisa também faz parte do grupo de Solo Grampeado da PUC-COPPE e os ensaios também foram realizados no talude escavado em gnaiss na cidade de Niterói, RJ, na área do MAC, denominada de Museu I. Além desse local, foram executados ensaios no talude vizinho, chamado de Museu II, e em uma obra próxima, denominada Fagundes Varela.

A autora executou 25 grampos em solo residual (maduro ou jovem) e em rocha alterada: 3 ensaios na Fagundes Varela, 20 ensaios no Museu I e 2 ensaios no Museu II, cujos resultados são apresentados nas Tabelas A1.31, A1.32 e A1.33 do Anexo I, em função da variação de parâmetros do solo. A Figura 3.9 ilustra as montagens dos ensaios de arrancamento e a Figura 3.10 apresenta um dos resultados. Alguns ensaios tiveram problemas, sendo acrescidas na tabela notas com essa informação. Ela concluiu que o principal fator de influência no valor de q_s é a reinjeção, tendo sido observadas pequenas variações de acordo com o tipo de lavagem do furo e o tempo de cura da nata de cimento.



(a) Sistema usado no Museu I



(b) Sistema usado na Fagundes Varela

Figura 3.9 – Montagens de ensaios de arrancamento de grampos (SPRINGER, 2006).

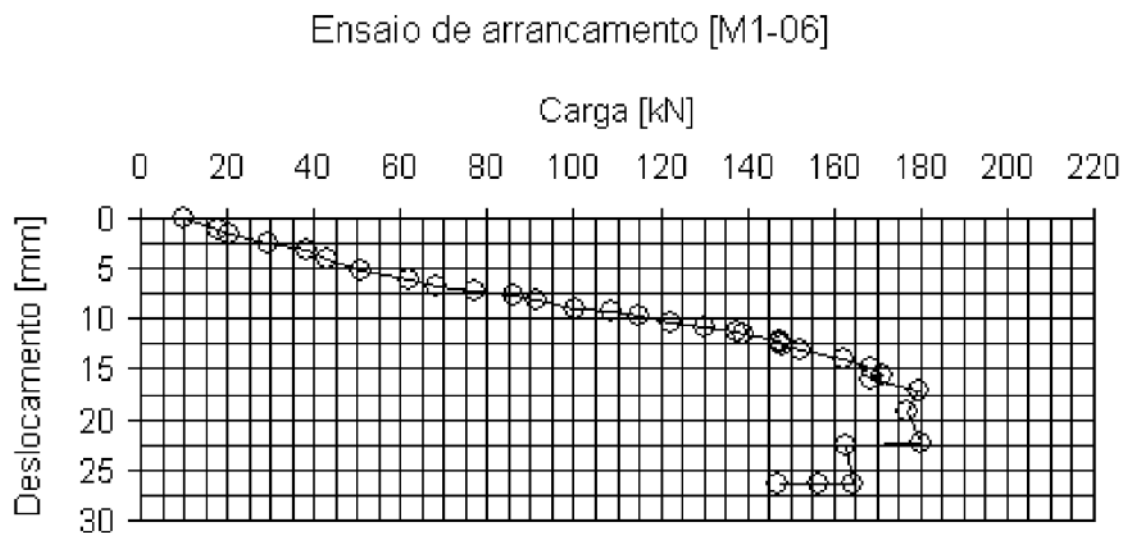


Figura 3.10 – Resultado do ensaio de arrancamento de um grampo do Museu 1 (SPRINGER, 2006).

FRANÇA (2007) apresenta os resultados de ensaios de arrancamento de grampos realizados em laboratório, e a verificação do seu comportamento no tocante aos deslocamentos do solo e às forças nos grampos. Foi usado um solo coletado em São Carlos caracterizado como areia argilosa de média plasticidade. Os resultados são apresentados na Tabela A1.34 (Anexo I).

LEITE (2007) estudou o emprego de grampos reforçados com fibras de polipropileno, em substituição às barras de aço, no solo grampeado. Como referência, foram realizados dois ensaios em grampos convencionais, em um solo residual maduro silto-arenoso de Santa Cruz da Serra, Duque de Caxias, RJ. Os ensaios em grampos convencionais são apresentados na Tabela A1.35 do Anexo I.

PACHECO SILVA et al. (2008) buscaram quantificar o desempenho de chumbadores curtos e longos, construídos com duas fases de injeção, em relação aos executados somente com bainha. Os ensaios foram realizados em argila silto-arenosa, conforme mostrado na Figura 3.11. Os resultados dos 5 ensaios de arrancamento são apresentados na Tabela A1.36 do Anexo I. Em um dos ensaios, foi observada uma discrepância entre o valor de q_s calculado com as informações fornecidas e o valor de q_s apresentado no trabalho. O valor calculado com as informações fornecidas consta entre parênteses. Também não foi informada a localização de tais ensaios.



Figura 3.11 – Ensaio de arrancamento dos grampos (PACHECO SILVA et al., 2008).

PACHECO SILVA (2009) estudou a influência de diferentes metodologias executivas do grampo na resistência ao arrancamento q_s , variando o número de injeções. Os ensaios de arrancamento foram realizados em grampos de duas obras em Osasco e Santo André, SP. Os solos estudados foram caracterizados como argila silto arenosa, argila porosa arenosa e silte arenoso. Foram programados um conjunto de 54 ensaios com diversas metodologias executivas (variando a quantidade de injeções e a distribuição das válvulas de injeção), porém três ensaios não foram realizados devido a problemas específicos e sete ensaios não atingiram a ruptura. Os resultados desse conjunto de ensaios são apresentados nas Tabelas A1.37 a A1.40 do Anexo I, separados por tipo de solo. De forma complementar, também foi construída uma estrutura de solo grampeado em laboratório, com solo proveniente de São Carlos, SP, e foram realizados nove ensaios de arrancamento, que são apresentados na Tabela A1.41 do Anexo I.

MIRANDA (2009) realizou ensaios de arrancamento em campo e em laboratório com objetivo de estudar o comportamento da resistência ao cisalhamento de interface (q_s). No caso dos ensaios de laboratório, foi usado o mesmo solo que o de PACHECO

SILVA (2009), porém a geometria do grampo foi ligeiramente diferente, conforme informações apresentadas na Tabela A1.42 do Anexo I. A Figura 3.12 apresenta o sistema utilizado no arrancamento de grampos em laboratório. Quanto aos ensaios realizados em campo, foram executados dois ensaios de arrancamento no mesmo solo de PACHECO SILVA (2009) em Osasco, SP. Os dois últimos ensaios são apresentados na Tabela A1.43 (Anexo I). Observou-se discrepância entre os valores de q_s calculados com as informações fornecidas e os valores de q_s publicados no trabalho. Novamente, os valores calculados pela autora são indicados entre parênteses.



Figura 3.12 – Sistema utilizado para o ensaio de arrancamento dos grampos no laboratório (MIRANDA, 2009).

HLENKA et al. (2010) realizaram 4 ensaios de arrancamento de grampos em solo areno-siltoso na obra do Joinville Garten Shopping, SC. O objetivo do trabalho era comparar os resultados de q_s obtido dos ensaios de arrancamento com os valores calculados por métodos empíricos. Dos quatro ensaios, apenas um atingiu a ruptura, e

os resultados são apresentados na Tabela A1.44 (Anexo I). Os autores concluíram que os métodos empíricos não apresentaram bons resultados.

MEDEIROS et al. (2010) realizaram quatro ensaios de arrancamento em grampos instalados em silte arenoso de obra de contenção no Setor de Edifícios Públicos Sul, em Brasília/DF. Os resultados são apresentados na Tabela A1.45 (Anexo I). Observou-se dois casos de discrepância entre os valores de q_s calculados com as informações fornecidas e os publicados pelos autores. Os valores calculados são indicados entre parênteses.

LIMA (2010) executou seis ensaios de arrancamento para subsidiar o projeto de estabilização e monitoramento geotécnico dos taludes adjacentes à Casa de Força e Tomada d'Água/Canal de Desvio da PCH BRAÇO, localizada no Estado do Rio de Janeiro. A obra no talude da Tomada d'Água/Canal de Desvio é mostrada na Figura 3.13. Como resultado desses ensaios, LIMA (2010) apresentou dois valores médios: 156kPa e 195kPa. Como não foi explicitado a quais ensaios se referiam esses valores, optou-se por catalogá-los como dois ensaios com os resultados de 156kPa e 195kPa. Esses resultados são apresentados na Tabela A1.46 junto com as informações pertinentes dos ensaios.

CERQUEIRA SILVA (2010) apresentou a solução adotada para estabilização de encostas localizadas na linha férrea de Campos do Jordão, com a utilização de chumbadores ancorados em rocha alterada arenosa. Nesse contexto, foram realizados três ensaios de arrancamento, cujas informações são apresentadas na Tabela A1.47 (Anexo I). O autor não define o valor de q_s , nem o diâmetro do furo. Porém, a autora buscou fotos apresentadas no trabalho e estimou, com base nas mesmas e com o conhecimento de padronização das perfuratrizes, o diâmetro de furo de 100mm. A partir dessa estimativa, calculou-se o valor de q_s .



Figura 3.13 – Vista do talude adjacente à Tomada d'Água/Canal de Desvio (LIMA, 2010).

BELONI (2010) realizou doze ensaios de arrancamento de grampos em um talude de solo residual jovem de origem gnáissica, em Viçosa – MG. O objetivo era avaliar correlações para a estimativa de q_s em função de ensaios de campo, e também comparar os valores encontrados nos ensaios de arrancamento com valores estimados a partir de formulações existentes. Os resultados dos ensaios de arrancamento são apresentados na Tabela A1.48 (Anexo I). Esses ensaios também foram relacionados em BELONI et al. (2013). Em nenhum trabalho constou o comprimento do furo, mas foi possível calculá-lo a partir dos valores de q_s publicados, em conjunto com todas as outras variáveis necessárias.

PASSINI et al. (2012) estudaram a viabilidade de substituir as barras de aço utilizadas em grampos convencionais por fibras de polipropileno e, para isso, foram instalados e ensaiados grampos convencionais executados com barras de aço envoltas por pasta de cimento e grampos não convencionais executados com argamassa

reforçada com fibras de polipropileno (sem barra). Esses ensaios foram realizados em um perfil típico do Rio de Janeiro, composto de solo residual de gnaiss e rocha alterada. Foram realizados seis ensaios em grampos convencionais, que são apresentados na Tabela A1.49 do Anexo I.

BEZERRA et al. (2012) investigaram a resistência ao arrancamento em um solo residual de ardósia do Distrito Federal. Foram realizados 15 ensaios de arrancamento, variando a quantidade de injeções e a utilização de aditivos expansores. Os resultados desses ensaios são apresentados na Tabela A1.50. Observa-se que, apesar de fornecer o valor de q_s para todos os ensaios, os valores de carga de ruptura e de deslocamento foram fornecidos por grupos de ensaios, conforme indicado na tabela. Essa autora conferiu o resultado de q_s , calculando-o pelas informações médias, e o mesmo está condizente com os valores individuais apresentados no trabalho.

GOLDBACH et al. (2012) apresentam três resultados de ensaios de arrancamento de grampos em um talude em solo residual no Rio de Janeiro. Esses ensaios variaram apenas em profundidade de confinamento, e os resultados são apresentados na Tabela A1.51 (Anexo I). A Figura 3.14 ilustra a montagem do sistema utilizado na realização do ensaio.

MORETTI et al. (2013) apresentam os resultados de ensaios de arrancamento em quatro grampos executados em diferentes níveis em um aterro rodoviário silto-argiloso localizado na Rodovia Castello Branco, interior do estado de São Paulo. Os ensaios foram realizados seguindo os procedimentos descritos pela GEORIO (1999) e são apresentados na Tabela A1.52.

RESENDE (2014) realizou seis ensaios de arrancamento em grampos em solos da cidade de Goiânia, conforme apresentado na Figura 3.15. Os ensaios foram executados seguindo os critérios da NBR 5629 (ABNT, 2006) para tirantes. Nenhum dos ensaios realizados alcançou a ruptura, sendo que apenas um deles, Grampo GM2, se aproximou do nível crítico, segundo a autora. Os resultados são apresentados na Tabela A1.53 do Anexo I.



Figura 3.14 - Montagem do ensaio de arrancamento (GOLDBACH et al., 2012).



Figura 3.15 - Ensaio de arrancamento dos grampos (RESENDE, 2014).

PORTO (2015) propôs uma metodologia semiempírica simplificada via web para previsão de análise do comportamento de ancoragens em obras geotécnicas, tanto em termos de controle tecnológico de obras de contenção, como estimativa de capacidade de carga geotécnica de ancoragens. O trabalho foi baseado em ensaios de recebimento, qualificação e básico executados nos estados de São Paulo e Minas Gerais em conformidade com a NBR 5629 (ABNT, 2006). Os ensaios foram realizados por diferentes executores e em variadas regiões dentro dos estados citados. A Figura 3.16 ilustra um dos ensaios realizados em Minas Gerais.

No conjunto publicado, apenas alguns ensaios de qualificação e básico atingiram a ruptura, permitindo assim calcular o valor de q_s . Outros ensaios de qualificação e básico, que não atingiram a ruptura, também foram incluídos nas tabelas, mas estão assinalados com esta informação. Os ensaios de recebimento foram desconsiderados por esta dissertação, visto que são limitados à carga de trabalho e, provavelmente, muito inferiores à carga da ruptura.

Os resultados e dados dos ensaios analisados são planilhados nas Tabelas A1.54 a A1.63 do Anexo I, separados de acordo com o local do ensaio. Observa-se que a informação relativa ao diâmetro da barra foi substituída por área de aço, pois nesse caso foram usados fios/cordoalhas. Além disso, destaca-se que os ensaios cujo nome foram marcados com R (exemplo: T4R na Tabela A1.54) são ensaios reinjetados, ou seja, o tirante (conforme o exemplo: tirante T4) foi levado à ruptura e após foi realizada uma nova injeção com pressão mais alta. Em seguida, o tirante foi reensaiado, sendo obtida uma nova resistência ao arrancamento q_s , maior que a anterior. A explicação sobre o aumento da resistência reside no fato da nova injeção penetrar nos vazios gerados pela ruptura anterior e assim aumentar o bulbo do tirante.

Ressalta-se que PORTO (2015) fez ensaios de tirantes e usou altas pressões de injeção. Ele destaca que, devido às altas pressões de injeção, o diâmetro do furo não tem, nem aproximadamente, o diâmetro final do tirante. Para fins de comparação com todos os outros grampos, optou-se por usar o fator de majoração do diâmetro do furo, conforme indicado por PORTO (2015). Ele propõe valores que variam de acordo com o tipo de solo. Contudo, para efeito de análise desse trabalho, resolveu-se adotar um valor médio aproximado para todos os solos igual a 2. Ou seja, no cálculo do q_s , o diâmetro foi majorado de um fator de 2. Ainda é importante relatar que, caso essa majoração não

tivesse sido aplicada, os valores de q_s obtidos seriam incoerentes para o solo em questão. Esse fator, defendido pelo autor na sua tese de doutorado, é importante para a comparação dos tirantes e grampos que compõem o banco de dados da presente pesquisa.



Figura 3.16 – Montagem do ensaio no tirante da obra de Esmeraldas – MG (PORTO, 2015).

GOBBI et al. (2016) realizaram dois ensaios de arrancamento em um solo de itabirito friável. Apesar dos autores explicitarem que se trata de uma areia siltosa, os valores reportados dos parâmetros de resistência (coesão de 20,4 kPa e ângulo de atrito de 36°) e peso específico (igual a 30,6 kN/m³) são muito elevados para um maciço areno siltoso, levando a suspeita dos ensaios terem sido realizados em alteração de rocha filítica. Não foi explicitado, entretanto, a região onde foram realizados os ensaios, nem mesmo o estado. No segundo ensaio, ocorreram problemas com a fonte de alimentação e o grampo não atingiu a ruptura, mas os autores observaram que o comportamento pré-ruptura era semelhante ao obtido para o primeiro grampo. As informações desses ensaios são apresentadas na Tabela A1.64 (Anexo I).

CERQUEIRA SILVA et al. (2016) apresentaram resultados de três ensaios de arrancamento que não atingiram a ruptura. Informam tratar-se de solo “coesivo” de baixa permeabilidade. Porém, nenhuma informação adicional do solo é fornecida, tampouco a localização dos ensaios. Sendo assim, apesar das inclusões terem sido

denominadas por chumbadores, pelo fato de serem instalados em solo, na realidade são grampos. O conjunto de dados e resultados dos ensaios são apresentados na Tabela A1.65 do Anexo I. A Figura 3.17 mostra o sistema utilizado para a realização dos ensaios de arrancamento.



Figura 3.17 - Ensaio de arrancamento de grampos (CERQUEIRA SILVA et al., 2016).

DIAS SILVA (2016) analisou uma obra de contenção na cidade de Goiânia, na qual foram realizados três ensaios de arrancamento de grampos em um solo tropical não saturado, conforme mostrado na Figura 3.18. Os grampos ensaiados eram bem longos, com comprimentos injetados variando entre 10 e 16m. Não foi possível atingir a ruptura dos grampos por motivos executivos. Devido à variação de cota dos três ensaios, um dos ensaios foi realizado em solo ligeiramente diferente. Sendo assim, as informações dos ensaios foram separadas por tipo de solo e são apresentadas nas Tabelas A1.66 e A1.67.

SOLOTRAT (2017) disponibilizou em seu site uma planilha com alguns ensaios de arrancamento em grampos e/ou chumbadores realizados pela empresa. Além dos ensaios já encontrados na literatura em PITTA et al. (2003) e SOUZA et al. (2005), foram fornecidas informações de resultados de outros ensaios, conforme apresentado nas Tabelas A1.68 a A1.72 do Anexo I.



Figura 3.18 – Ensaio de arrancamento dos grampos (DIAS SILVA, 2016).

A Empresa MRS Logística disponibilizou alguns ensaios de arrancamento realizados em grampos nas localidades de Belo Vale (MG), Valença (RJ) e Paulo de Frontin (RJ). Os grampos foram executados em solos residuais com comprimento total de cerca de 4m, sem trecho livre de bulbo. Os resultados desses ensaios são apresentados nas Tabelas A1.73, A1.74 e A1.75.

Além das referências apresentadas, foram obtidas informações de ensaios realizados na Ilha de Bom Jesus, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro (NUNES, 2017). Os chumbadores foram executados em rocha alterada e pouco alterada, típica do município. Os resultados desses ensaios de arrancamento são apresentados na Tabela A1.76 (Anexo I) e a montagem ilustrada na Figura 3.19.

NUNES (2017) também forneceu informações de ensaios realizados no Morro da Joatinga, cidade do Rio de Janeiro. Esses ensaios foram realizados em tirantes, conforme a NBR 5629 (ABNT, 2006), e alguns antigiram a ruptura. As informações disponíveis dos ensaios levados à ruptura são apresentadas na Tabela A1.77.

A Tabela 3.1 apresenta um resumo dos trabalhos analisados para a montagem do Banco de Dados desta pesquisa, com as informações de tipo de solo e quantidade de ensaios realizados.



Figura 3.19 – Ensaio de arrancamento dos grampos na obra da Ilha Bom Jesus (NUNES, 2017).

Tabela 3.1 - Resumo das referências do Banco de Dados da pesquisa.

| Referência | Ano | Tipo de Solo | Nº de ensaios |
|----------------|------|--|---------------|
| ORTIGÃO et al. | 1992 | Solo residual silte arenoso | 3 |
| LEMO | 1994 | Rocha sã leptinito | 9 |
| ORTIGÃO | 1997 | Argila porosa | 3 |
| | | Silte arenoso | 2 |
| | | Silte arenoso | 3 |
| | | Metasiltito | 2 |
| | | Ardósia | 12 |
| | | Colúvio | 1 |
| GOTLIEB et al. | 1997 | Silte arenoso compacto | 3 |
| FEIJÓ et al. | 2001 | Solo residual maduro de biotita gnaiss | 8 |
| | | Solo residual de gnaiss-leptinitico | 12 |
| EHRlich et al. | 2001 | Biotita gnaiss | 1 |

| | | | |
|-----------------|------|---|----|
| PINTO et al. | 2001 | Solo residual | 3 |
| AZAMBUJA et al. | 2001 | Solo residual de paragnaisse | 6 |
| PITTA et al. | 2003 | Argila vermelha porosa paulista | 5 |
| | | Silto argiloso | 10 |
| | | Argilo arenoso | 10 |
| | | Argila vermelha paulista | 14 |
| | | Saprolito de gnaissse | 7 |
| SOARES et al. | 2003 | - | 6 |
| MORAES et al. | 2003 | Argilo-arenoso | 2 |
| ALONSO et al. | 2003 | Solo residual silte areno-argiloso | 2 |
| LOZANO et al. | 2003 | Silte arenoso (origem: granito) | 2 |
| OLIVEIRA et al. | 2004 | Solo de alteração de granito (areia silto-argilosa) | 8 |
| SOUZA et al. | 2005 | Silte arenoso com mica | 6 |
| PROTO SILVA | 2005 | Solo residual gnáissico argila arenosa | 2 |
| | | Solo residual gnáissico areia argilosa | 6 |
| OLIVEIRA et al. | 2005 | Silte argiloso | 3 |
| MAGALHÃES | 2005 | Solo residual silte areno-argiloso | 2 |
| SPRINGER | 2006 | Solo residual maduro e jovem de gnaissse silto-arenoso | 3 |
| | | Solo residual maduro, jovem e rocha alterada - argila arenosa | 14 |
| | | Solo residual maduro, jovem e rocha alterada - argila arenosa | 6 |
| | | Solo residual maduro silte areno-argiloso | 2 |
| FRANÇA | 2007 | Areia argilosa de média plasticidade | 14 |
| LEITE | 2007 | Solo residual maduro silto-arenoso | 2 |
| PACHECO et al. | 2008 | Solo residual jovem argila silto-arenosa | 5 |
| PACHECO SILVA | 2009 | Argila silto arenosa | 14 |
| | | Argila silto arenosa | 14 |
| | | Argila porosa arenosa | 12 |

| | | | |
|------------------------|------|---|----|
| | | Silte arenoso | 14 |
| | | Areia argilosa | 9 |
| MIRANDA | 2009 | Areia argilosa | 1 |
| | | Solo saprolítico de areia fina, pouco siltosa | 2 |
| HLENKA et al. | 2010 | Silte argiloso | 4 |
| MEDEIROS et al. | 2010 | Silte arenoso | 4 |
| LIMA | 2010 | Argila arenosa | 2 |
| CERQUEIRA SILVA | 2010 | Rocha arenosa | 3 |
| BELONI | 2010 | Solo residual de gnaiss, argila arenosa | 12 |
| PASSINI et al. | 2012 | Solo residual jovem de gnaiss | 6 |
| BEZERRA et al. | 2012 | Solo residual de alteração de ardósia, silte argiloso | 15 |
| GOLDBACH et al. | 2012 | Areia fina e média siltosa | 3 |
| MORETTI et al. | 2013 | Aterro silto argiloso | 4 |
| RESENDE | 2014 | Argila-silte arenoso | 6 |
| PORTO | 2015 | Areia fina siltosa | 5 |
| | | Argila siltosa | 3 |
| | | Argila silto-arenosa | 2 |
| | | Argila arenosa | 3 |
| | | Areia argilosa | 2 |
| | | Areia argilosa | 14 |
| | | Areia argilosa | 5 |
| | | Silte areno-argiloso | 4 |
| | | Silte argilo-arenoso | 4 |
| | | Solo residual, alteração de rocha, areia pouco argilosa | 12 |
| GOBBI et al. | 2016 | Itabirito friável, areia siltosa | 2 |
| CERQUEIRA SILVA et al. | 2016 | Solo de baixa permeabilidade | 3 |
| DIAS SILVA | 2016 | Argila siltosa | 2 |

| | | | |
|------------------|------|--|-----|
| DIAS SILVA | 2016 | Silte argiloso | 1 |
| NUNES | 2017 | Maciço rochoso gnáissico sã | 2 |
| | | Solo residual de areia micácea | 16 |
| SOLOTRAT | 2017 | Argila orgânica silto-arenosa | 6 |
| | | - | 6 |
| | | Areia fina argilosa | 2 |
| | | Argila siltosa | 3 |
| | | Argila silto-arenosa mole | 11 |
| MRS Logística | 2017 | Solo residual de gnaiss - areno-argiloso | 8 |
| | | Solo residual de gnaiss - areno-argiloso | 3 |
| | | Areno-argiloso | 2 |
| Total de ensaios | | | 445 |

3.3 Agrupamento dos Dados

As informações apresentadas no item anterior juntamente com as tabelas de dados e resultados disponibilizadas no Anexo I formam um banco de dados para a análise de possíveis relações entre índices do solo e resistência ao arrancamento.

Primeiramente, é importante salientar que nem todos os ensaios foram levados a ruptura, mas se considera que os que não foram levados até a ruptura, devem ser próximos da mesma. Dos ensaios apresentados, 73 (16%) não atingiram a ruptura. Porém, constatou-se que a maioria desses ensaios se encontravam acima ou muito próximo dos valores dos ensaios que atingiram a ruptura. Sendo assim, optou-se por incluí-los nas análises indiscriminadamente.

Também é importante ressaltar que alguns ensaios de arrancamento foram realizados em laboratório, um total de 24 ensaios. Apesar do fator de escala e sua possível influência na resistência ao arrancamento, eles apresentaram resultados semelhantes aos demais ensaios de campo. Considerando este fato, a reduzida quantidade deste tipo de ensaios e sua pouca influência nas análises, os resultados desses ensaios também foram incluídos no banco de dados para o desenvolvimento do estudo de correlações.

Apenas os ensaios de arrancamento com problemas, sejam de execução ou de carregamento da ancoragem, foram descartados. Nessa condição, foram

desconsiderados 9 ensaios (2%). Além desses, somente um ensaio foi descartado em função da impossibilidade de determinação de q_s e 9 ensaios foram descartados por terem sido obtidos resultados em outra ordem de grandeza (em torno de 10 vezes maior).

Desta forma, os 426 ensaios formaram um banco de dados para o desenvolvimento das análises. Para isso, os ensaios foram selecionados e divididos em grupos. Buscou-se grupos com uma quantidade significativa de ensaios, com um mínimo de 30 por grupo.

Esses grupos foram divididos de acordo com parâmetros que influenciam no q_s e são importantes para projetistas, com objetivo de se buscar alguma correlação ou parâmetro médio por grupo. Sendo assim, pode-se dividir os ensaios em 3 grupos em função da localização, número de injeções e tipo de material.

3.3.1 Localização do Ensaio

Os ensaios podem ser divididos entre possíveis localizações dos ensaios. Devido ao grande número de ensaios por região, São Paulo (Grupo 1) e Rio de Janeiro (Grupo 2) formam os principais grupos de ensaios com 204 (48%) e 115 (27%) ensaios, respectivamente. Minas Gerais (Grupo 3) e Brasília (Grupo 4) também têm um número mínimo de ensaios, formando grupos com 34 (8%) e 36 (8%) ensaios, respectivamente. O restante dos ensaios (37 ensaios, correspondendo a 9%), espalhados em outras regiões do Brasil, foram inseridos no Grupo 5.

3.3.2 Número de Injeções

Como o número de injeções interfere diretamente no resultado dos ensaios, os mesmos são agrupados em função da quantidade de injeções realizadas. Essa divisão proporcionou a seguinte quantidade de ensaios por grupo:

- a) Apenas bacia: 137 ensaios (32%);
- b) Bacia mais uma injeção: 109 ensaios (26%);
- c) Bacia mais duas ou três injeções: 120 ensaios (28%);

d) Não especificado: 60 ensaios (14%).

Nesta pesquisa entende-se que, se não foi especificado o número de injeções realizadas, provavelmente o ensaio foi executado com o número mínimo de injeções, ou seja, apenas com bainha. Sendo assim, o grupo de ensaios que não teve o número de injeções especificado (60 ensaios), foi incluído dentro do grupo de apenas bainha.

3.3.3 Tipo de Material

Apesar de alguns ensaios terem sido executados em material rochoso, a grande maioria foi realizada em solo. Para dividir por tipo de material, optou-se pela classificação em dois grupos, solos argilosos e solos arenosos, de forma a possibilitar possíveis relações. O material rochoso foi classificado de acordo com o solo residual resultante da decomposição do mesmo.

Destaca-se que foram considerados argilosos os solos que o autor classificou como argila ou silte argiloso. Da mesma forma, no grupo arenosos foram incluídos os solos classificados pelo autor como areia ou silte arenoso. Alguns solos, cuja classificação não seguiu os critérios da Classificação Unificada dos Solos, resultando em classificações do tipo silte areno-argiloso ou silte argilo-arenoso, foram separados em um outro grupo, junto com os solos sem classificação.

Separando de acordo com essas características, o banco de dados fica dividido da seguinte forma:

- a) Solos argilosos: 184 ensaios (43%);
- b) Solos arenosos: 194 ensaios (46%);
- c) Solos sem classificação: 48 ensaios (11%).

Nesta pesquisa optou-se por analisar os ensaios classificados como “solos sem classificação” em conjunto com os ensaios dos outros dois grupos, devido à dúvida do tipo de solo presente nos ensaios desse terceiro grupo. Sendo assim, os resultados dos ensaios do último grupo foram incluídos em todas as análises, ou seja, junto com os solos argilosos e junto com os solos arenosos.

3.4 Análise Estatística

A análise do banco de dados formado por resultados de ensaios de arrancamento exigiu utilizar algumas ferramentas estatísticas e computacionais. Na tentativa de buscar um resultado representativo dos dados, alguns valores de referência precisaram ser adotados.

Usualmente, utiliza-se o Método dos Mínimos Quadrados na busca de uma equação que represente os dados. O Método dos Mínimos Quadrados é utilizado na análise de um conjunto de pontos, buscando-se adequar uma curva. Os parâmetros dessa curva são determinados pelo método, com um erro associado a cada parâmetro. Esse erro resulta em uma faixa de possíveis curvas que se podem adequar aos dados analisados.

Ao se traçar determinada curva na tentativa de representação de um conjunto de dados, é necessário fazer uso de índices que indiquem se a curva traçada reflete realmente a tendência dos dados. Um índice comumente utilizado é o coeficiente de determinação, também chamado de R^2 , que é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico generalizado em relação aos valores observados, indicando a porcentagem da variável dependente explicada pela variação da variável independente. Ou seja, quanto maior o R^2 , melhor a curva traçada representa os dados inseridos, sendo que o valor desse índice varia de 0 a 1. Em ensaios realizados na área de mecânica dos sólidos, é comum obter R^2 maior que 0,95. Porém, o solo é um material natural, com muitas variações, e o ensaio não é normalizado, também apresentando variações. Foi admitido, assim, que R^2 superiores a 0,50 já indicam que a curva pode representar os ensaios analisados.

Um outro tipo de análise que pode ser utilizada consiste em traçar curvas que configurem um limite superior e um limite inferior dos dados. Primeiramente, esses limites devem conter a maioria dos dados catalogados. Sendo assim, definiu-se que essas curvas devem conter entre as mesmas, no mínimo, 50% dos dados analisados.

Ainda é importante definir uma distância máxima entre as curvas. Isso porque seria pouco útil para os projetistas dizer que um determinado solo poderia ter q_s variando entre 50 e 300kPa (valores comumente encontrados na prática). Por outro lado, quanto maior a distância entre as curvas, mais ensaios é possível contemplar, o que também é importante para a qualidade dos limites. Sendo assim, para que os limites

configurem uma boa estimativa, dentro da variação observada nos valores, a autora determinou que a distância entre as duas curvas deve ser cerca de 100kPa. A Figura 3.20 ilustra as referências utilizadas para traçar os limites superior e inferior.

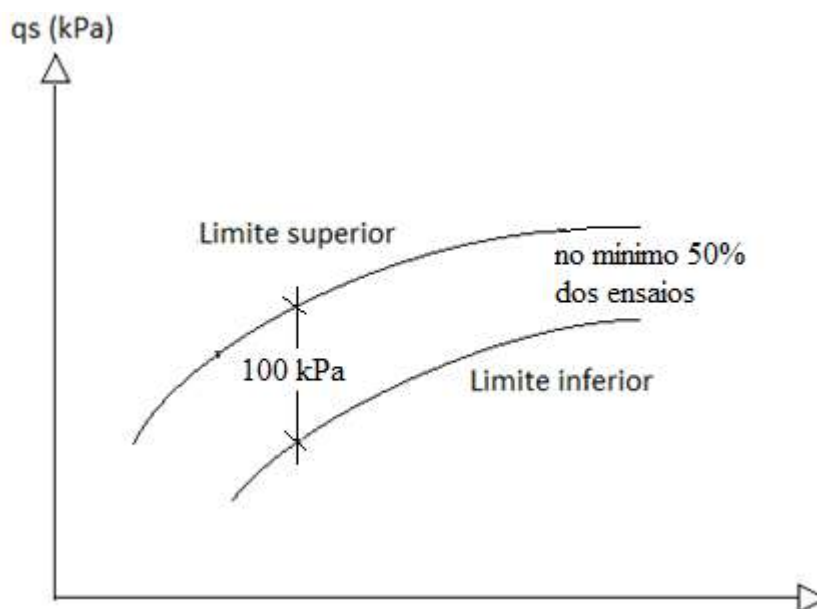


Figura 3.20 - Referências utilizadas para traçar os limites superior e inferior.

Na análise por limites, destaca-se que é possível que os dados estejam (a) abaixo do limite inferior; (b) entre os limites inferior e superior; (c) acima do limite superior. A Figura 3.21 ilustra essas posições. No caso (a), os valores estimados pelas curvas são maiores que os reais, observados no local. Ou seja, ao calcular q_s com base em quaisquer das curvas limites, a estimativa será contra a segurança, pois os valores adotados (com base nos limites) são superiores aos valores reais. Esse caso deve ser evitado e o valor a ser considerado será o real, inferior ao limite.

No caso (c), por sua vez, os valores reais são maiores que os estimados pelas curvas. Então, nesse caso, a adoção de q_s com base em quaisquer um dos limites resulta em valores adotados menores que os reais. Sendo assim, os reforços calculados com base na estimativa são superestimados, pois como a resistência é maior que a adotada, seria necessária menor quantidade de reforços (ou menor comprimento dos mesmos).

Mas, de qualquer forma, apesar de economicamente desfavorável, a estimativa é a favor da segurança.

Por fim, no caso (b) os valores reais são maiores que o estimado pelo limite inferior e menores que o estimado pelo limite superior. Nessa condição, caso seja adotada a estimativa com base no limite inferior, resultará numa estimativa conservadora (ou a favor da segurança). Enquanto que, se adotado o limite superior, a estimativa seria contra a segurança.

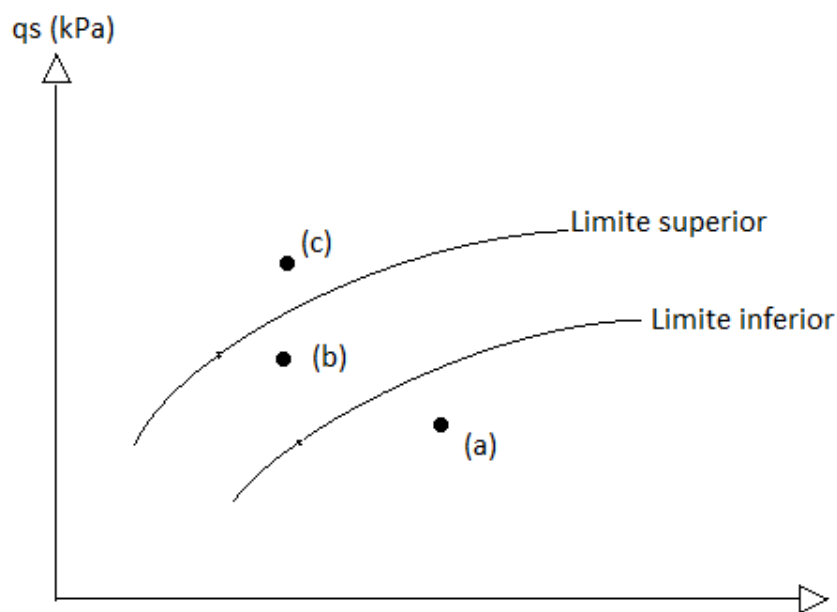


Figura 3.21 - Possíveis posições dos ensaios, em comparação aos limites superior e inferior traçados.

Buscando evitar a ocorrência do caso (a), nesta pesquisa adotou-se uma restrição para análises de possíveis correlações de estimativa de q_s . Esta restrição corresponde a, no mínimo, 80% dos dados estejam acima do limite inferior traçado. Com base nas diretrizes adotadas, foram determinadas as curvas de limites superior e inferior que melhor se adequariam aos dados, associadas à restrição de 80% de resultados acima do limite inferior.

Em adição, observou-se que uma das dificuldades na obtenção de correlações reside no fato de que apenas um N_{SPT} está relacionado com vários valores de q_s . Isso

acontece pois se adota um N_{SPT} médio da região e faz vários ensaios, que podem ter variações significativas. Para evitar esse problema, os ensaios podem ser agrupados de acordo com o N_{SPT} . Em cada grupo com um mesmo N_{SPT} pode-se calcular a média e o desvio padrão dos dados. O desvio padrão é calculado com a seguinte fórmula, considerando que os argumentos são uma amostra da população:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Esses valores são relacionados nos gráficos, sendo que é possível admitir que o desvio padrão seria o erro associado à média calculada. Então, os valores médios com seus respectivos desvios padrão podem ser plotados, permitindo encontrar uma relação que atenda os critérios de representabilidade acima citados.

4. Análise de Resultados

4.1 Relação Geral entre q_s e N_{SPT}

A primeira tentativa de correlação realizada foi a mais comum da literatura brasileira, buscando a relação direta entre q_s e N_{SPT} . Inicialmente, foram plotados todos os ensaios disponíveis que possuíam a informação de N_{SPT} , em forma de gráfico de dispersão de N_{SPT} x q_s , totalizando 334 ensaios. A Figura 4.1 apresenta o gráfico resultante. Cabe ressaltar que os valores de N_{SPT} plotados correspondem aos resultados dos ensaios executados conforme a prática brasileira.

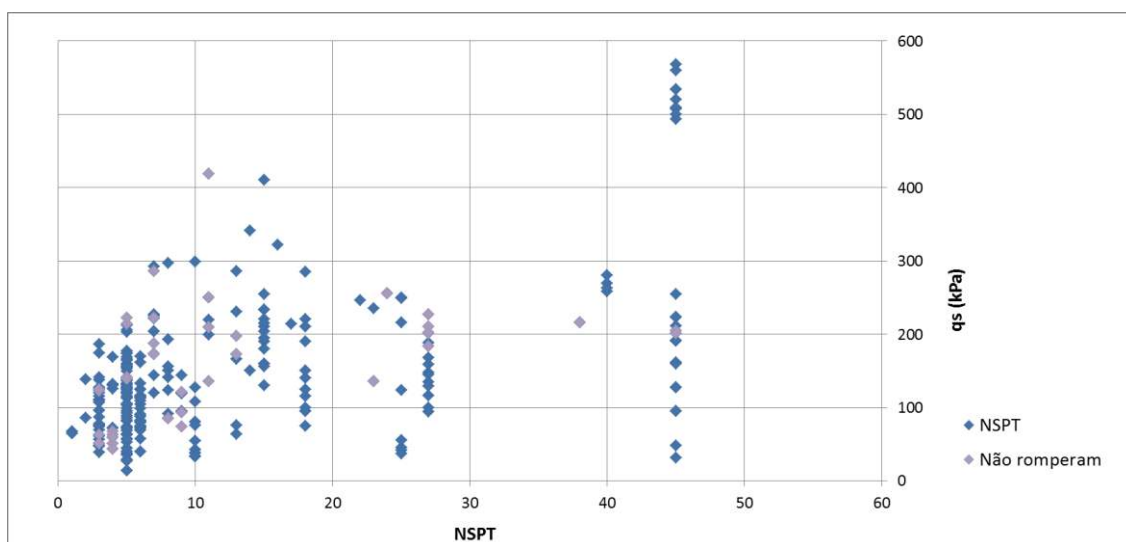


Figura 4.1 – Correlação entre q_s e N_{SPT} de 334 ensaios de arrancamento.

Porém, foi observado que uma expressiva quantidade de pontos não possuía N_{SPT} , num total de 92 ensaios, não permitindo incluí-los na correlação. Desta forma, o N_{SPT} desses ensaios foi estimado de acordo com a localização do ensaio e o tipo de solo. O resultado dessas estimativas é apresentado no Anexo II, indicando o valor adotado de acordo com a região e o tipo de solo. Além desses, alguns casos tratavam de material rochoso e para eles foi adotado N_{SPT} igual a 60.

A correlação entre q_s e N_{SPT} de todos os ensaios de arrancamento, incluindo os estimados, sem a diferenciação em relação ao rompimento ou não, encontra-se na Figura 4.2. Observa-se uma nuvem de pontos e nenhuma relação explícita é encontrada. Foram tentadas correlações lineares, logarítmicas, exponenciais, polinomiais, mas as relações obtidas não eram representativas conforme os critérios já apresentados.

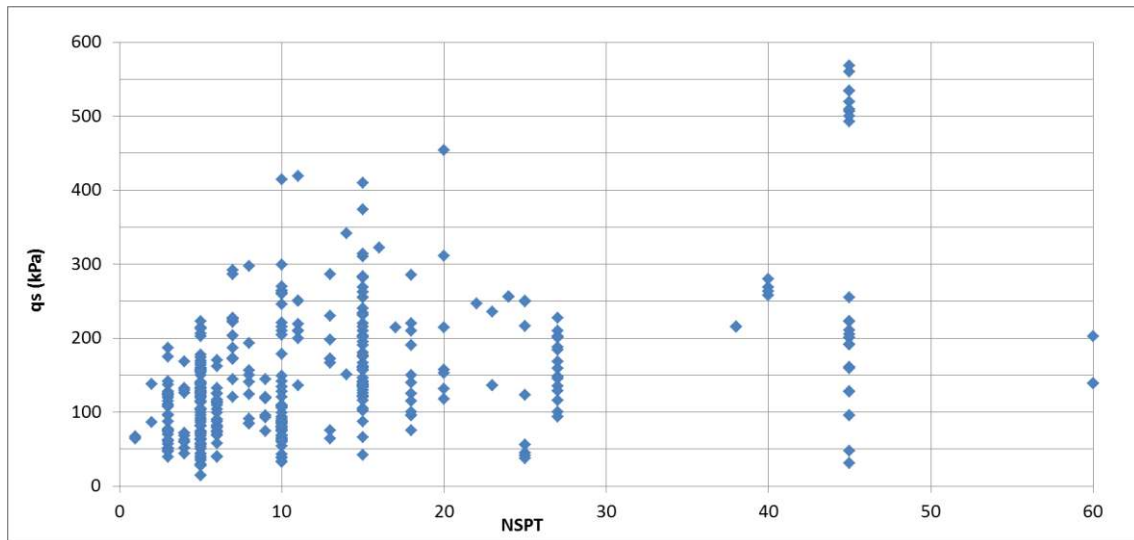


Figura 4.2 - Correlação entre valores de q_s e N_{SPT} medido e estimado de 426 ensaios de arrancamento.

Devido à ausência de correlação explícita, optou-se por traçar um limite inferior e um limite superior dos dados, conforme os critérios já estabelecidos no Capítulo 3. As curvas que melhor se adequaram aos critérios são as apresentadas na Figura 4.3.

Analisando os dados plotados no gráfico da Figura 4.3 e as curvas adotadas como limites inferior e superior, observa-se que 58% dos resultados se situam entre as curvas limites. Adicionalmente, abaixo do limite inferior, encontram-se apenas 11% dos ensaios de arrancamento e 31% encontram-se acima do limite superior.

A distância entre as curvas limites está em torno de 100kPa, podendo ser as mesmas usadas como estimativa do valor de q_s . Com base na experiência, no tipo de obra e no conhecimento já existente do local, o projetista pode, antes da realização de

ensaios, adotar os valores de q_s em função de N_{SPT} do solo, escolhendo valores mais próximos do limite inferior ou do limite superior.

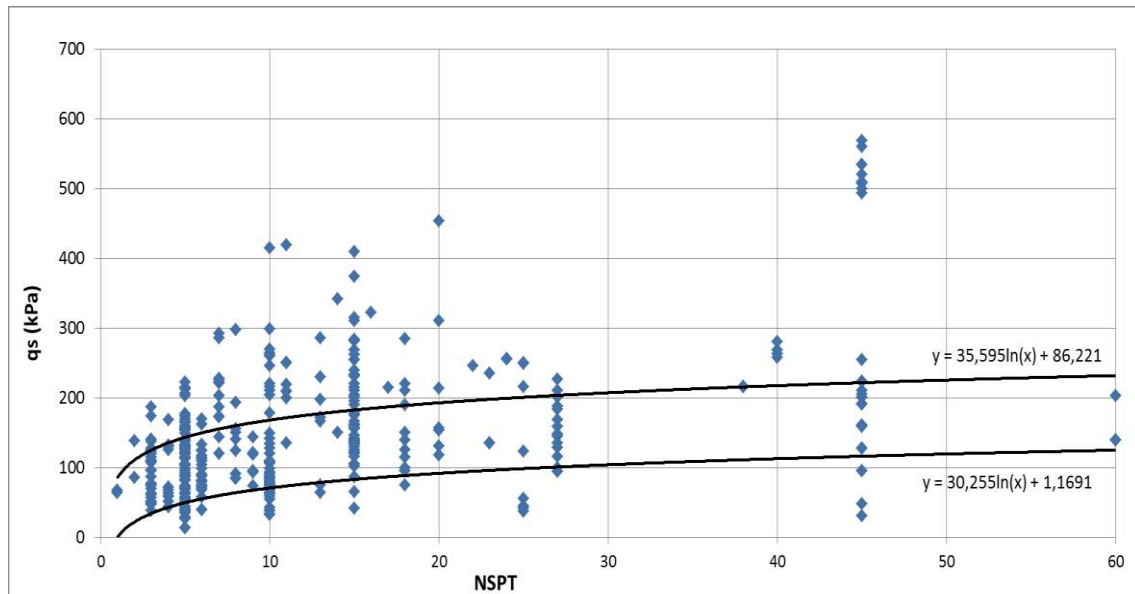


Figura 4.3 - Correlação entre valores de q_s e N_{SPT} medido e estimado de 426 ensaios de arrancamento com limites superior e inferior.

4.2 Relação entre q_s e N_{SPT} em Função da Região

Numa nova tentativa de correlação e observação de um comportamento geral dos ensaios de arrancamento do banco de dados, foi realizada uma análise considerando os resultados agrupados por região ou localização da obra na qual foi executado o ensaio. Conforme apresentado no Capítulo 3, os ensaios foram agrupados em:

- a) Grupo 1: 204 ensaios em São Paulo;
- b) Grupo 2: 115 ensaios no Rio de Janeiro;
- c) Grupo 3: 34 ensaios em Minas Gerais;
- d) Grupo 4: 36 ensaios em Brasília;
- e) Grupo 5: 37 ensaios distribuídos em outras regiões do Brasil.

Os resultados dos ensaios do grupo 1, oriundos de São Paulo, estão representados na Figura 4.4. Observa-se uma concentração de ensaios com N_{SPT} abaixo de 15, devido ao tipo de solo comum na região. Observa-se também que os valores de q_s variam significativamente para o mesmo N_{SPT} .

A média dos resultados de São Paulo, independente do N_{SPT} , é de 132,4kPa com um desvio padrão de 65,8kPa. Observa-se que a maior parte dos resultados de q_s em São Paulo está situado entre 50 e 150kPa (mais de 60%).

Foram analisadas possíveis correlações representativas desses resultados com base nos critérios estabelecidos anteriormente. Porém, não foi encontrada nenhuma correlação que atendesse o coeficiente mínimo R^2 . De acordo com as curvas limites já estabelecidas para todos os dados, dos 204 ensaios pertencentes a essa categoria, 126 ensaios (62%) se situam entre as curvas de limite inferior e limite superior. Além disso, constata-se que apenas 10% estão abaixo do limite inferior e 28% dos dados estão acima do limite superior.

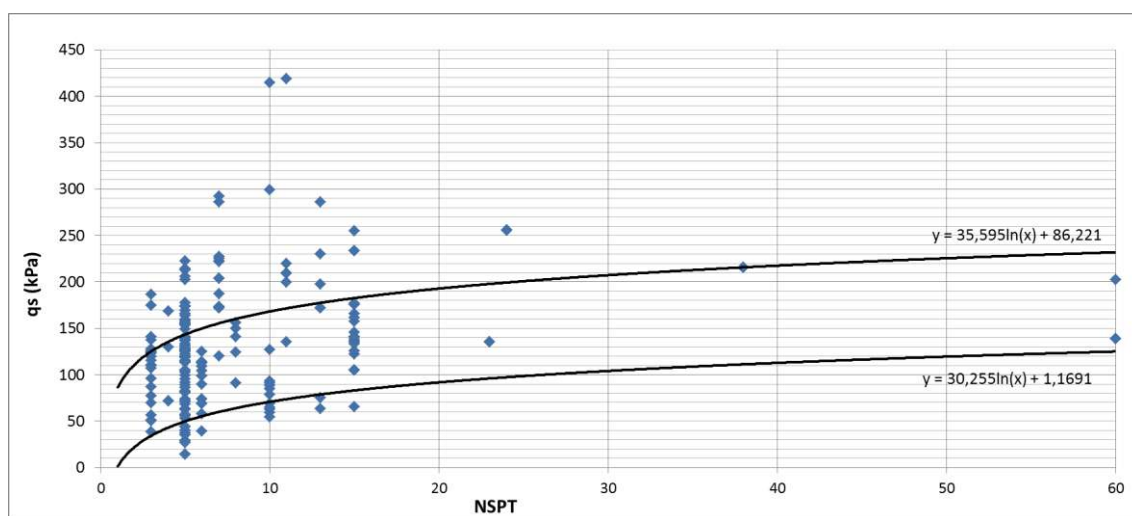


Figura 4.4 – Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento de São Paulo.

Em relação aos ensaios oriundos do Rio de Janeiro, que formam o segundo grupo, observou-se que os valores de N_{SPT} são mais altos, conforme Figura 4.5. Os solos típicos do Rio de Janeiro são predominantemente representados pelos solos residuais de gnaisses. Os valores de q_s , porém, variam bastante, não apresentando nenhuma

correlação explícita representativa da região. Dos 115 ensaios que compõe esse grupo, 107 ensaios (93%) se situam acima do limite inferior e 64 ensaios (55%) estão abaixo do limite superior. Ou seja, uma significativa parte dos ensaios do Rio de Janeiro (45%) encontra-se acima do limite superior.

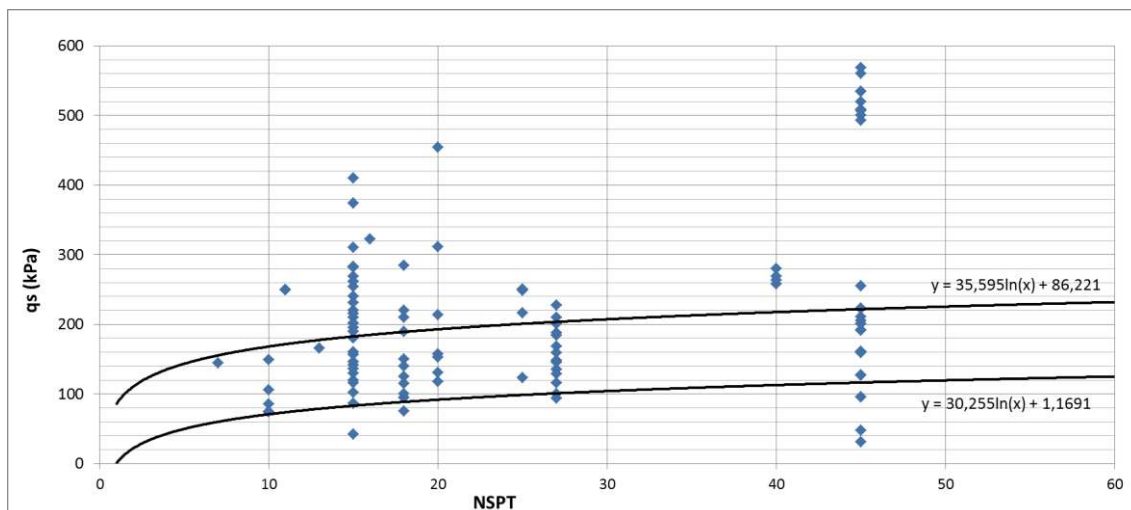


Figura 4.5 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento do Rio de Janeiro.

Em relação aos ensaios executados no Rio de Janeiro, observa-se que a média da resistência ao arrancamento, independente do N_{SPT} , é de 210,5kPa, com desvio padrão de 117,4kPa. A maioria dos resultados do Rio de Janeiro (62%) está entre 100 e 250kPa, ou seja, uma ampla faixa de variação dos resultados.

Conforme esperado em função do tipo de material, os resultados dos ensaios indicam que os valores de q_s dos solos cariocas são significativamente maiores do que os de solos paulistas. Além disso, observa-se que a dispersão representada pelo desvio padrão dos dados do Rio é bem maior que a de q_s dos solos paulistas, sendo ainda mais difícil a definição de uma relação para a estimativa de q_s no Rio de Janeiro.

O terceiro grupo de resultados de ensaios, executados em Minas Gerais, constitui um banco de dados reduzido, com apenas 34 ensaios, e pouco representativo tendo em vista a grande área da região e as complexas e variadas condições geológicas. Os ensaios que foram catalogados nesse estado apresentaram valores de N_{SPT} reduzidos e inferiores a 10 e com grande dispersão. Nenhuma correlação pode ser obtida. Conclui-se

que os ensaios não podem ser considerados representativos do estado. Pelo mesmo motivo, o grupo 5, onde foram alocados os ensaios de diferentes regiões brasileiras, não mostrou qualquer tendência de correlação entre q_s e N_{SPT} .

O grupo 4, representante dos dados oriundos de Brasília, apresenta apenas 36 ensaios. Apesar da pouca quantidade de ensaios, Brasília tem área reduzida quando comparada às áreas dos estados anteriores, com uma geologia relativamente homogênea. Entretanto, pode-se observar uma variação significativa da correlação entre q_s e N_{SPT} , conforme apresentado na Figura 4.6.

Observa-se que a média dos valores de resistência ao arrancamento em Brasília é de 101,6kPa, com desvio padrão de 83,5kPa. Porém, a grande maioria dos resultados (64%) encontra-se até o limite de 100kPa, indicando que o banco de dados de Brasília é composto por solos com baixa resistência ao arrancamento.

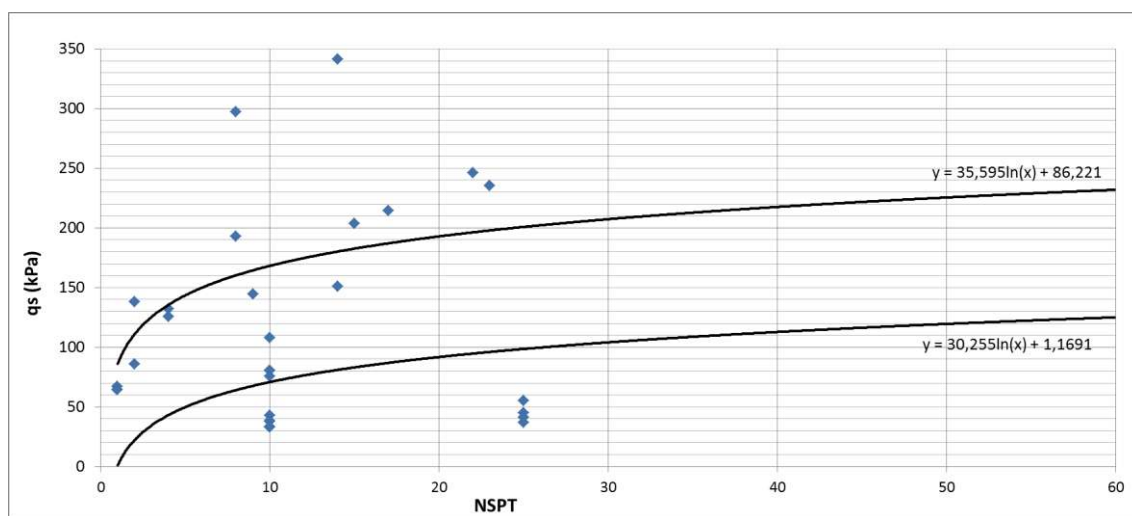


Figura 4.6 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento de Brasília.

4.3 Relação entre q_s e N_{SPT} em Função do Número de Injeções

Foi realizada uma análise dos resultados dos ensaios de arrancamento do banco de dados de acordo com o número de injeções realizadas para a execução do grampo. Essa análise visa confirmar que o acréscimo do número de injeções melhora a resistência ao arrancamento do solo, com uma perspectiva completamente genérica. Ou seja, não serão comparados ensaios semelhantes, realizados na mesma região e com a mesma

metodologia, como já foi feito na literatura. Serão comparados os conjuntos de ensaios que compõem o banco de dados, realizados em diferentes locais, com diferentes metodologias.

Os ensaios do Grupo Apenas Bainha e Grupo Não Especificado são analisados juntos e apresentados na Figura 4.7. Não é possível, com base nos critérios estabelecidos, traçar nenhuma correlação. Numa análise dos valores de q_s , observa-se que a quase metade (49%) dos resultados dos ensaios analisados apresentaram resistência ao arrancamento menor que 100kPa, sendo que 16% desses ensaios apresentaram valores abaixo de 50kPa. Observou-se também que cerca de metade dos ensaios (52%) estão situados entre os limites inferior e superior adotados anteriormente. Em particular, abaixo do limite inferior, situam-se 20% dos ensaios, e acima do limite superior situam-se 28% dos ensaios.

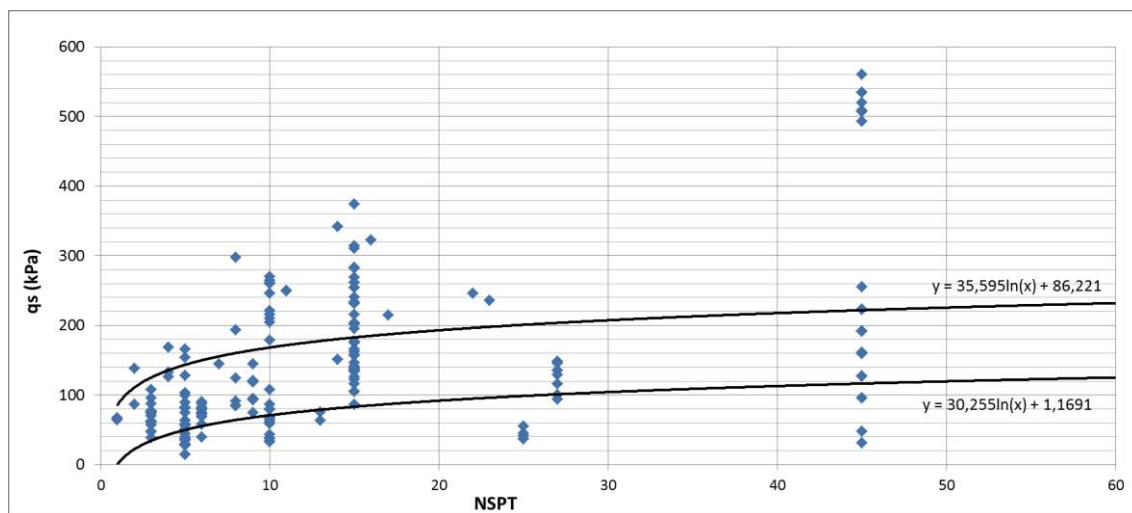


Figura 4.7 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento com bainha.

Já os ensaios realizados com bainha mais uma injeção, ou seja, duas injeções, são apresentados na Figura 4.10. Na análise de valores de q_s , observa-se que metade (50%) dos resultados de resistência ao arrancamento desse grupo estão situados entre 100 e 200kPa. Os resultados inferiores a 50kPa são muito poucos, apenas 3% da quantidade total dos ensaios. Observa-se também que 72% dos ensaios se encontram entre os limites adotados.

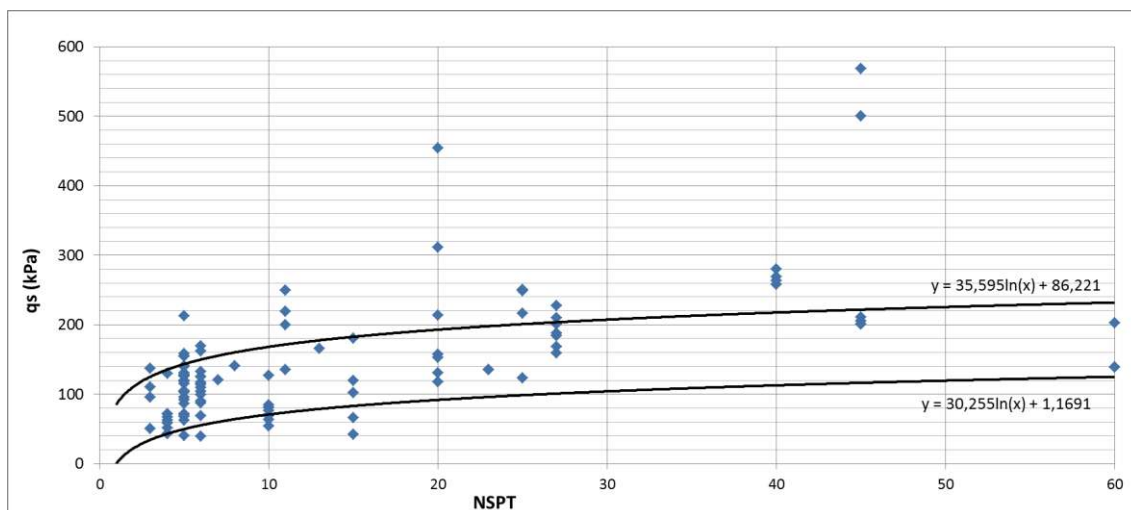


Figura 4.8 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento com duas injeções.

O último grupo, com os ensaios realizados com mais de duas injeções, é apresentado na Figura 4.9. Nesse caso, 72% dos resultados de resistência ao arrancamento desse grupo se situam entre 100 e 150kPa. Os resultados inferiores a 50kPa nesse grupo não chegam a 1% da quantidade dos ensaios. Apesar de 55% dos ensaios estarem situados entre os limites superior e inferior, quase todos que estão fora dos limites encontram-se acima do limite superior.

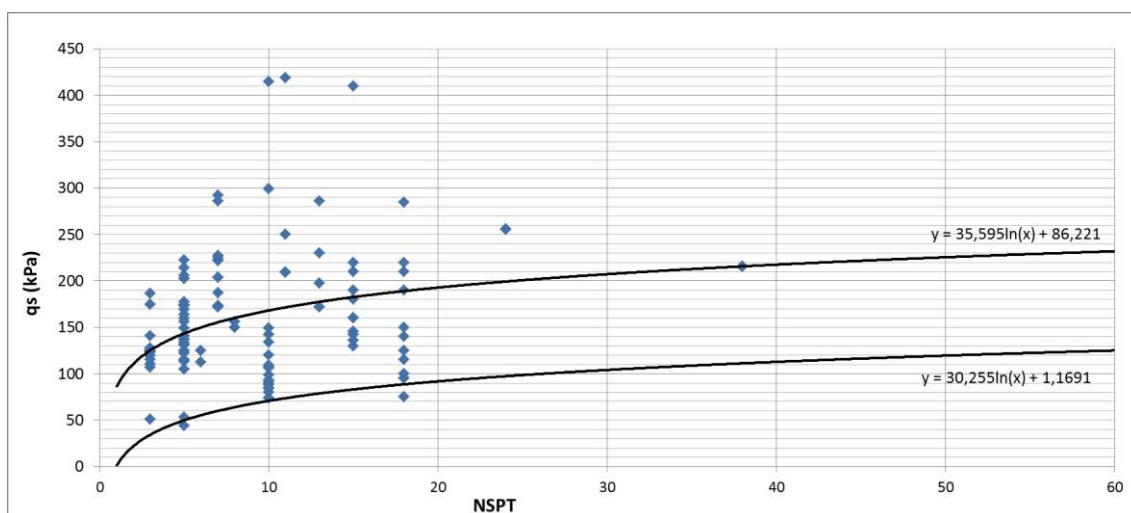


Figura 4.9 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento com três ou mais injeções.

Em função da diversidade de solos e ensaios realizados com diferentes metodologias, pode-se inferir uma tendência geral dos ensaios. Salienta-se que são tendências, assim resumidas:

- a) Os ensaios realizados apenas com bainha possuem resistência ao arrancamento menor, em média 50kPa inferior à dos ensaios realizados com maior número de injeções;
- b) Não existe uma diferença explícita significativa entre os valores médios dos ensaios realizados com duas injeções e os que foram executados com um número maior de injeções;
- c) A grande maioria dos resultados dos ensaios com duas injeções se situam entre os limites adotados. Já no caso de ensaios apenas com bainha, essa porcentagem é menor, apesar de ainda apresentar a maioria dos resultados entre os limites. No caso de ensaios com três ou mais injeções, uma expressiva quantidade de ensaios encontra-se acima do limite superior. Sendo assim, os limites são bem representativos no caso de duas injeções, contemplando a maior parte dos resultados. No caso de três ou mais injeções, eles tendem a ser conservativos;
- d) Ensaios cujos resultados são inferiores a 50kPa podem indicar problemas de injeção, como preenchimento incompleto do furo e presença de vazios no solo circunvizinho. Valores nessa ordem de grandeza indicam sobretudo solo de baixa resistência, podendo inclusive inviabilizar o emprego da estabilização com grampos. Esses ensaios, que podem ser problemáticos, ficam mais raros com o aumento do número de injeções. Portanto, provavelmente o maior número de injeções reduz e/ou elimina a ocorrência vazios e, principalmente, melhora a qualidade do grampo executado;
- e) São observados alguns casos de altos valores de resistência ao arrancamento em grampos apenas com bainha. Além do solo de maior resistência, isso também pode indicar que a bainha foi executada com controle e qualidade, resultando em valores elevados de q_s .

4.4 Relação entre q_s e N_{SPT} em Função do Tipo de Solo

A análise de acordo com o tipo de material resultou nas Figuras 4.10 e 4.11. Observa-se que os valores de q_s obtidos no grupo de solos predominantemente arenosos são bem mais dispersos que os de solos argilosos. Enquanto o desvio padrão dos solos argilosos é de 70 kPa, o dos solos arenosos atinge 102 kPa. Além disso, no caso dos argilosos, 64% dos valores estão concentrados entre 50 e 100kPa.

Além disso, nota-se que 72% dos solos argilosos encontram-se dentro dos limites inferior e superior estabelecidos, porém apenas 40% dos arenosos estão dentro desses mesmos limites. Ainda se observa que, apesar de pequena parte dos solos arenosos estarem dentro dos limites, a grande maioria (78%) dos ensaios fora dos limites se situam acima do limite superior.

Sendo assim, os limites adotados são bem representativos no caso de solos predominantemente argilosos. No caso de solos predominantemente arenosos, podem ser considerados conservativos.

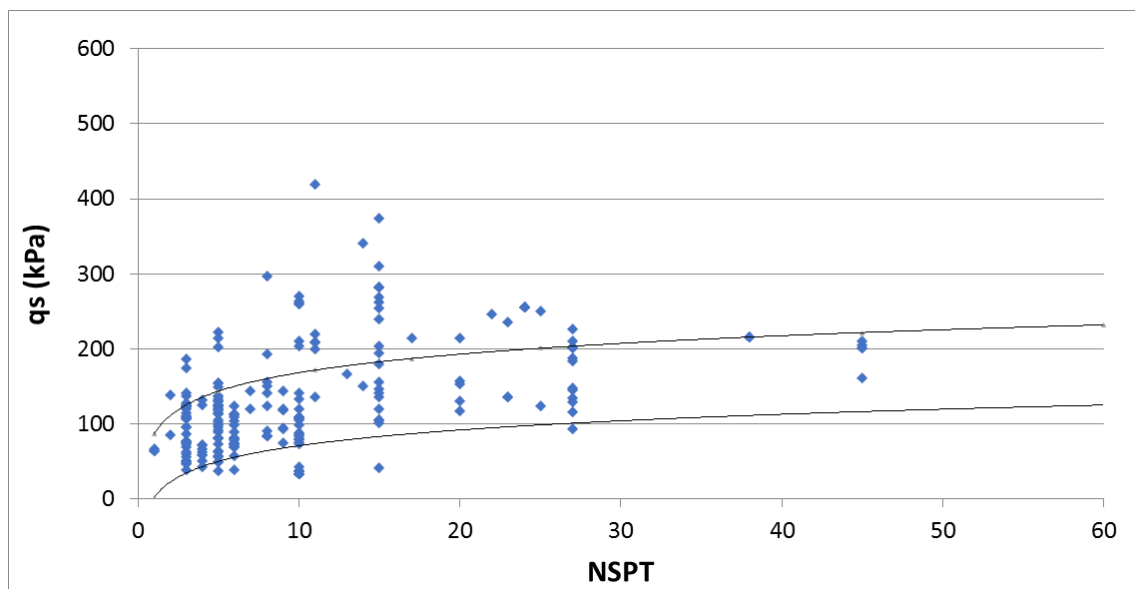


Figura 4.10 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento em solos argilosos.

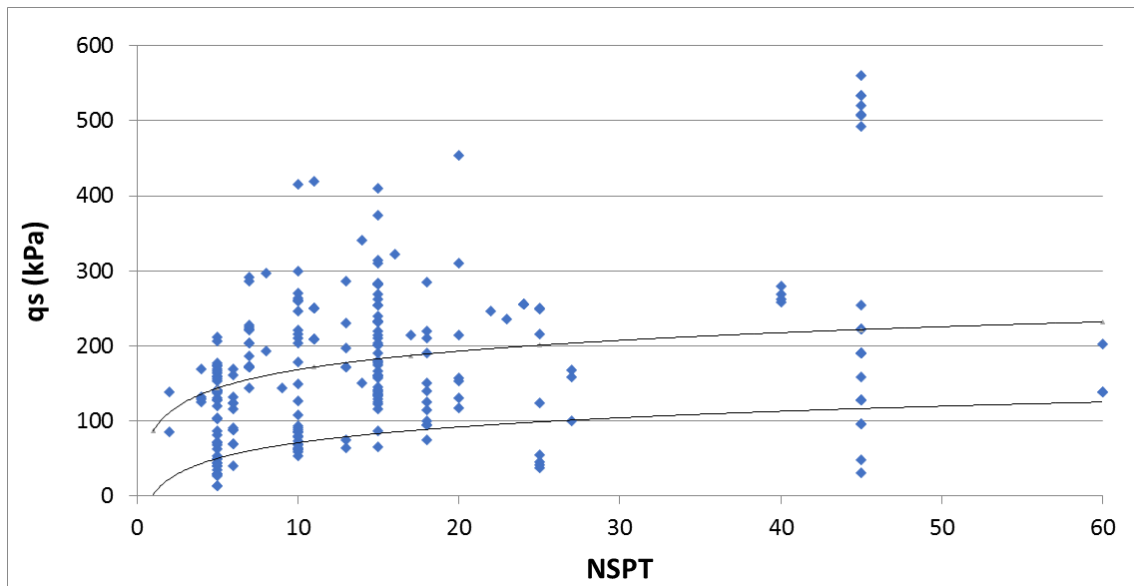


Figura 4.11 - Correlação entre q_s e N_{SPT} dos ensaios de arrancamento em solos arenosos.

4.5 Relação entre q_s e N_{SPT} em Valores Médios

A principal dificuldade em identificar correlações entre os resultados dos ensaios de arrancamento do banco de dados reside no fato de que um mesmo N_{SPT} tem vários valores de q_s associados. Isso acontece pois numa mesma área de mesmo N_{SPT} , tem-se diferenças naturais no solo, provocando variações de valores de resistência ao arrancamento. Além disso, temos o fator da forma de realização do ensaio, tendo em vista que não existe um ensaio padronizado.

Sendo assim, numa segunda tentativa de estabelecer uma correlação, os ensaios foram divididos em grupos de acordo com o valor N_{SPT} . Cada grupo de ensaios, que apresentavam um mesmo N_{SPT} , foi representado pela média de resultados e seu desvio padrão. As médias com os respectivos desvios padrão e a curva correspondente ao melhor ajuste são apresentadas na Figura 4.12.

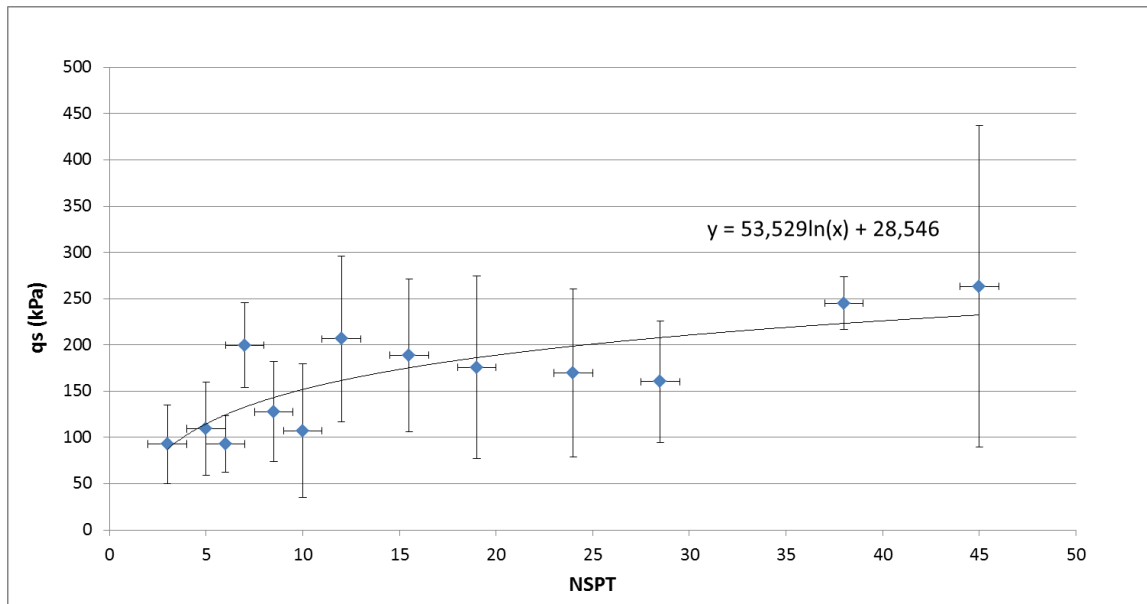


Figura 4.12 - Correlação entre q_s e N_{SPT} médio dos ensaios de arrancamento.

O coeficiente R^2 para a curva definida na Figura 4.12 é igual a 0,61, indicando que a curva representa satisfatoriamente os dados plotados. Destaca-se que os dados são médias com seus respectivos desvios-padrão, para cada N_{SPT} . Sendo assim, a curva representa uma tendência da média dos resultados, não tendo como objetivo agrupar a maioria dos ensaios, conforme abordagem de limites adotada anteriormente. Por fim, observa-se que essa curva representativa das médias é mais próxima do limite superior adotado anteriormente.

4.6 Relação entre q_s e Parâmetros de Resistência (em função de c e φ)

Conforme já comentado, a maioria das correlações da literatura tenta obter q_s a partir de valores de N_{SPT} . Porém, numa tentativa de buscar novos parâmetros fáceis de serem obtidos, e que também pudessem ser utilizados para estimar q_s , foram adotados os parâmetros coesão (c) e ângulo de atrito (φ) teóricos, calculados em função do Critério de Resistência de Mohr-Coulomb, expresso por:

$$C_0 = \frac{2 * c * \cos\varphi}{1 - \sin\varphi} \quad (\text{Equação 4.1})$$

$$T_0 = \frac{2 * c * \cos\varphi}{1 + \sin\varphi} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde:

c : coesão do solo;

φ : ângulo de atrito do solo;

C_0 : compressão teórica;

T_0 : tração teórica.

Desta forma, esses valores de resistência calculados com base nos ensaios em que as informações de coesão e ângulo de atrito estivessem disponíveis, foram plotados no gráfico junto com as correspondentes resistências ao arrancamento. Os gráficos obtidos, mostrados na Figura 4.13, não indicaram nenhum comportamento nem tendência. Sendo assim, não foi possível fazer nenhuma correlação. A análise também não foi aprofundada devido aos resultados pouco representativos para definição de uma tendência.

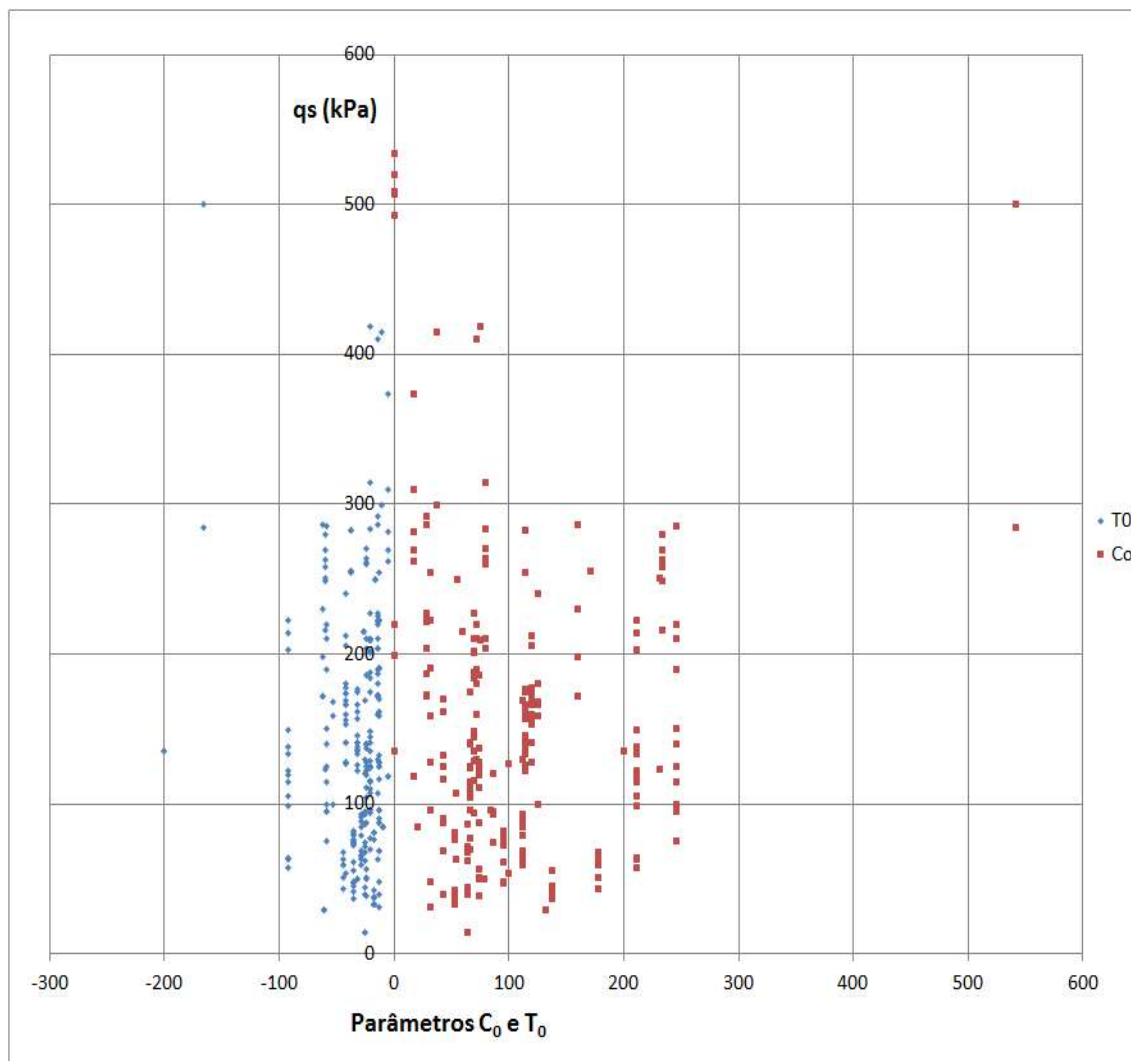


Figura 4.13 - Correlação entre q_s e resistências à compressão e tração teóricas C_0 e T_0 .

4.7 Comparação com as Estimativas de q_s Existentes

As correlações existentes na literatura, apresentadas no item 2.11, são na sua maioria baseadas em correlações com N_{SPT} , tendo sido obtidas a partir de ensaios em regiões e áreas específicas. Cabe salientar que algumas correlações são baseadas no ensaio DMT, outras têm como objetivo obter a capacidade de carga (ao invés de obter q_s). Considerando que o banco de dados da pesquisa não contempla essas propriedades (capacidade de carga e resultados do ensaio DMT), optou-se por comparar apenas as correlações que estimam diretamente q_s em função do N_{SPT} .

Nesse contexto, destacam-se as correlações de ORTIGÃO E PALMEIRA (1997), ORTIGÃO et al. (1997), FALCONI (2005), SPRINGER (2006) e PORTO (2015).

Note-se que essas correlações são baseadas em ensaios brasileiros, não havendo necessidade de considerações e correções em relação à energia do ensaio SPT.

PORTO (2015) considera uma correlação com fator k , que depende do tipo de solo. Essa correlação não foi considerada devido aos vários tipos de solo, com seus diferentes valores do fator k e ausência de alguns dados de ensaios. Salienta-se ainda que as correlações mais utilizadas para obter q_s em solos brasileiros são ORTIGÃO E PALMEIRA (1997), ORTIGÃO et al.(1997) e SPRINGER (2006).

Dessa forma, foram analisadas as principais correlações da literatura em função dos resultados dos ensaios de arrancamento do banco de dados e as curvas limites estabelecidas na pesquisa. A Figura 4.14 apresenta essas correlações.

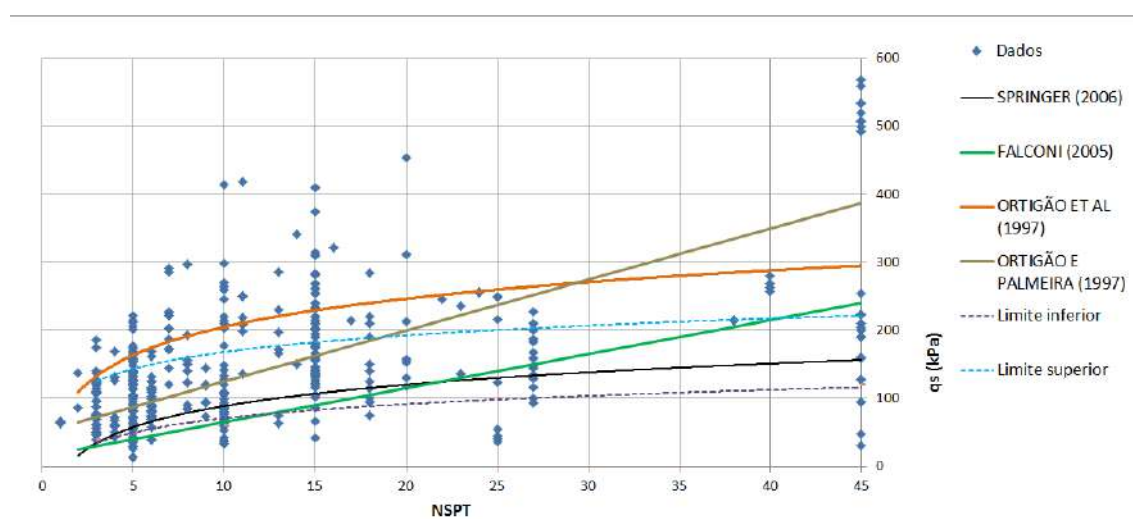


Figura 4.14 – Comparação de valores de q_s em função principais correlações da literatura.

Observa-se que a correlação de SPRINGER (2006) é próxima ao limite inferior adotado. Já a expressão proposta por ORTIGÃO et al. (1997) se situa acima do limite superior. Por fim, ORTIGÃO E PALMEIRA (1997) e FALCONI (2005) apresentam correlações lineares, que tem comportamento diferente em relação aos limites adotados, sendo a de ORTIGÃO E PALMEIRA (1997) mais ousada ou menos conservadora.

Numa análise dessas correlações em relação ao banco de dados geral, observou-se que:

- a) 21% dos dados estão abaixo da correlação proposta por SPRINGER (2006);
- b) 50% dos dados situam-se abaixo da correlação proposta por ORTIGÃO E PALMEIRA (1997);
- c) 82% dos dados situam-se abaixo da correlação proposta por ORTIGÃO et al. (1997);
- d) 17% dos dados encontram-se abaixo da correlação proposta por FALCONI (2005).

Os dados situados abaixo das correlações representariam casos em que essas correlações resultassem em valores maiores que os reais, ou seja, contra a segurança. Sendo assim, desses resultados, pode-se concluir que a relação de SPRINGER (2006) é uma relação bem interessante e conservadora, com apenas 21% dos casos situados abaixo da curva.

A correlação de FALCONI (2005), apesar de apresentar poucos resultados inferiores, é interessante apenas em casos com N_{SPT} menores, devido a sua linearidade. Já no caso de N_{SPT} superiores a 25, os valores estimados de q_s são superiores aos valores de q_s dos ensaios do banco de dados.

Conclui-se também que as correlações normalmente usadas, ORTIGÃO E PALMEIRA (1997) e ORTIGÃO et al. (1997) apresentam estimativas de q_s superiores ao comumente observado, ou seja, são correlações “ousadas”, não sendo indicadas para estimativa inicial de q_s .

4.8 Relação Proposta para Estimativa de q_s

Foram apresentados como limites inferior e superior dos resultados do banco de dados as seguintes expressões:

$$\text{limite inferior: } q_s = 30,2 * \ln(N_{SPT}) + 1,2 \quad (\text{Equação 4.3})$$

$$\text{limite superior: } q_s = 35,6 * \ln(N_{SPT}) + 86,2 \quad (\text{Equação 4.4})$$

Também foi proposta uma equação baseada nos valores médios, que se mostrou mais próxima do limite superior, conforme a seguinte expressão:

$$q_s = 53,5 * \ln(N_{SPT}) + 28,5 \quad (\text{Equação 4.5})$$

Propõe-se usar essas equações para a estimativa inicial de valores de q_s . Caso não haja nenhuma informação, nem conhecimento da área, recomenda-se usar o limite inferior como estimativa inicial de q_s . Caso já se tenha experiências anteriores ou conhecimento prévio da área, recomenda-se adotar q_s considerando os limites mencionados, se aproximando mais do limite superior, quanto maior for o conhecimento do projetista.

É importante também, no momento do projeto, considerar na estimativa o local da obra, o número de injeções e o tipo de solo. Conforme já comentado anteriormente, solos com duas ou mais injeções podem ter um acréscimo de q_s , podendo ser estimados mais próximos do limite superior.

Considerando a importância da proposta de uma correlação de q_s , foi feita uma nova análise considerando solos arenosos com 1 injeção, solos arenosos com 2 ou mais injeções, solos argilosos com 1 injeção e solos argilosos com 2 ou mais injeções. Esses grupos possuem 118, 124, 111 e 121 ensaios, respectivamente. Essa análise objetiva a determinação de curva, entre os limites estabelecidos, que possa ser utilizada para estimativa de q_s . Algumas metodologias foram estudadas para a obtenção dessa curva, conforme apresentado no Anexo III.

Na metodologia escolhida, que representa os dados em questão, o valor de N_{SPT} foi limitado a 30, pois não havia quantidade de resultados significativa em todos os grupos para N_{SPT} maior que este valor. Sendo assim, as análises dos grupos consideraram 95, 115, 110 e 114 ensaios, respectivamente. Para cada grupo, foi determinado o melhor ajuste aos dados, através do Método dos Mínimos Quadrados, resultando em uma função logarítmica. O índice R^2 das curvas traçadas, cerca de 0,20, foi menor que o aceitável. Além disso, 50 a 60% dos dados de q_s se situavam abaixo da curva estabelecida. Essas curvas não poderiam, assim, ser adotadas como estimativa de q_s .

Como cada parâmetro das curvas tem um erro associado, analisou-se uma nova curva, limitada à faixa definida pelos erros calculados para os parâmetros e que minimizasse a quantidade de ensaios com q_s inferior ao limite definido por essa curva.

Como resultado, foram obtidas as curvas mostradas na Figura 4.15, as quais apresentaram menos de 30% dos dados dos ensaios com valores inferiores aos limites definidos pelas relações em cada grupo (argiloso 1 e arenoso 1 com apenas bainha e argiloso 2 e arenoso 2 com bainha e, no mínimo, uma reinjeção).

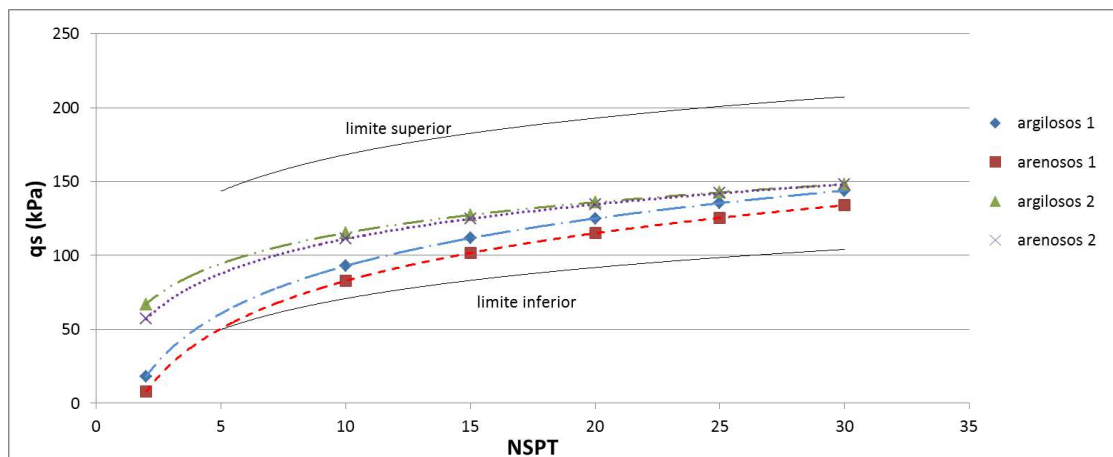


Figura 4.15 – Correlações entre q_s e N_{SPT} em função do tipo de solo, argiloso e arenoso e quantidade de injeções, 1 para bainha e 2 para bainha e 1 ou mais reinjeções.

Nas correlações apresentadas na Figura 4.15, observa-se que os solos arenosos possuem estimativa de resistência ao arrancamento menor que os solos argilosos. Isso pode ser atribuído à dispersão observada nos dados dos solos arenosos, resultando em uma curva de melhor ajuste inferior à dos solos argilosos. Também pode-se observar que os solos com 1 injeção possuem resistência menor que os solos com 2 ou mais injeções, o que era esperado.

Sendo assim, pode-se estimar a resistência ao arrancamento de acordo com o tipo de solo e a quantidade de injeções por meio do uso das seguintes expressões:

$$q_s = 46,3 * \ln(N_{SPT}) - 13,8 \quad \text{Solos argilosos com 1 injeção} \quad \text{(Equação 4.5)}$$

$$q_s = 46,5 * \ln(N_{SPT}) - 24,3 \quad \text{Solos arenosos com 1 injeção} \quad \text{(Equação 4.6)}$$

$$q_s = 29,9 * \ln(N_{SPT}) + 46,4 \quad \text{Solos argilosos com 2 ou mais injeções} \quad \text{(Equação 4.7)}$$

$$q_s = 33,7 * \ln(N_{SPT}) + 33,7$$

Solos arenosos com 2 ou mais injeções (Equação 4.8)

Por fim, destaca-se a importância e a necessidade de ensaios de resistência ao arrancamento com objetivo de confirmar valores estimados. O projetista pode estimar a resistência q_s baseando-se nas expressões propostas nesta pesquisa, na sua experiência e conhecimento do local e, assim que a obra é iniciada, ele deve confirmar o valor adotado por meio de ensaios de arrancamento de ancoragens executadas na área.

5. Conclusões e Sugestões

As ancoragens são amplamente utilizadas no reforço de taludes. No projeto dessas ancoragens, é necessária a adoção de valores de resistência ao arrancamento. Nessa pesquisa, os ensaios de arrancamento de ancoragens existentes na literatura brasileira foram catalogados em forma de tabelas, formando um amplo banco de dados brasileiro. O banco de dados, contendo 445 ensaios de ancoragens nacionais, resume as principais informações encontradas nos trabalhos da bibliografia e que influenciam no resultado de q_s . O banco de dados assim constituído foi empregado para o desenvolvimento das análises desta pesquisa, visando principalmente o estabelecimento de uma proposta de correlação para estimativa de resistência ao arrancamento das ancoragens.

Observou-se grande variabilidade nos resultados dos ensaios. Isso ocorre pois, no caso de grampos e chumbadores, não existe norma específica, sendo realizados ensaios de arrancamento com diferentes metodologias executivas.

As análises, realizadas a partir do banco de dados, permitiram o estudo e o entendimento do comportamento da resistência ao arrancamento. Para facilitar o estudo, os resultados dos ensaios foram divididos em grupos em função da localização, número de injeções e tipo de material.

A correlação entre resistência ao arrancamento e o índice N_{SPT} apresentou resultados interessantes. Porém, o resultado das análises não permitiu a adoção de uma correlação única entre q_s e N_{SPT} . De forma a orientar os projetistas na estimativa de q_s a partir do N_{SPT} , foram traçados limites superior e inferior. Entre esses limites, situam-se 50% dos dados de ensaios. Ainda foi apresentada uma proposta baseada nos valores médios, a qual se aproximou do limite superior.

Em relação ao número de injeções, os grampos executados com duas ou mais injeções resultam em q_s superior a grampos com apenas bainha. Além disso, observou-se resistências ao arrancamento muito reduzidas no grupo de grampos executados somente com bainha, podendo indicar ensaios com problemas de injeção. Também foi observado que não existe variação significativa na resistência média dos grampos executados com duas ou mais injeções.

Em relação ao local do ensaio, observa-se que solos cariocas possuem média de q_s igual a 210,5 kPa, maior que os solos paulistas, de 132 kPa. No caso de solos oriundos de Brasília, foi observada uma média menor, igual a 83,5 kPa, com 64% dos resultados abaixo de 100 kPa.

Porém, a dispersão é relativamente maior em solos cariocas, com desvio padrão de 117,4 kPa, enquanto que os solos oriundos de São Paulo possuem o menor desvio padrão, igual a 65,8 kPa. Nos casos de Rio de Janeiro e São Paulo, mais que 90% dos ensaios situaram acima do limite inferior adotado.

Em relação ao tipo de solo, observou-se que solos arenosos possuem desvio padrão maior que os argilosos. Enquanto os solos argilosos possuem 72% dos resultados de resistência entre os limites adotados, nos solos arenosos essa porcentagem diminui para 40%.

Recomenda-se que o valor de q_s seja adotado considerando os limites propostos. O valor a ser adotado dentro da faixa de valores recomendada depende da experiência do projetista e do conhecimento prévio da área. O limite inferior é interessante nos casos de pouco conhecimento da área.

Porém, objetivando a adoção de correlações específicas de acordo com o tipo de solo e método executivo, foram propostas expressões para solos arenosos com 1 injeção, solos arenosos com 2 ou mais injeções, solos argilosos com 1 injeção e solos argilosos com 2 ou mais injeções. Destaca-se que essas expressões estão entre os limites considerados anteriormente.

A quantidade de ensaios catalogados no banco de dados desta pesquisa ainda não reflete a quantidade de obras de reforço com solo grampeado ou cortina atirantada existentes no Brasil. Apesar da realização desse tipo de reforço ser muito comum, poucas vezes são realizados ensaios de arrancamento e, quando realizados, os dados são disponibilizados com ainda menor frequência. A disponibilização dos ensaios de arrancamento realizados e os resultados de novos ensaios de arrancamento permitiria o refinamento das correlações apresentadas.

Desta forma, propõe-se para futuras pesquisas as seguintes sugestões:

- a) Continuidade e aumento do banco de dados com mais contribuições de resultados de ensaios de arrancamento realizados no Brasil;
- b) Verificação da consistência e confiança das correlações propostas para estimativa da resistência ao arrancamento de grampos em função de resultados de ensaios realizados;
- c) Proposição de procedimentos de execução de grampos e de ensaio de arrancamento para a normatização brasileira, ainda inexistente;
- d) Análises de sensibilidade do Fator de Segurança em função das resistências ao arrancamento de grampo estimadas com as correlações propostas nesta pesquisa;
- e) Análises estatístico-probabilísticas dos resultados de ensaios de arrancamento do Banco de Dados desta pesquisa.

6. Referências

ABNT. 2006. NBR 5629: Execução de tirantes ancorados no Terreno. 2006.

ALONSO, U. R. e FALCONI, F. F. 2003. Solo Grampeado sem concreto projetado, Proposição para estabilização de taludes rodoviários. *Workshop Solo Grampeado - Projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento*. São Paulo: ABMS-SINDUSCON-SP, 2003.

AZAMBUJA, E., STRAUSS, M. e SILVEIRA F. G. 2003. Sistemas de contenção em solo grampeado na cidade de Porto Alegre. *Workshop Solo Grampeado - Projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento*. São Paulo: ABMS-SINDUSCON-SP, 2003.

AZAMBUJA, E., STRAUSS, M. e SILVEIRA, F. G. 2001. Caso histórico de um sistema de contenção em solo grampeado em Porto Alegre. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Rio de Janeiro: ABMS, 2001.

BELONI, M. L. e MINETTE, E. 2013. Previsão da Resistência ao Arrancamento em Grampos Através do Ensaio DMT. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Angra dos Reis, RJ: ABMS, 2013.

BELONI, M. L. 2010. Resistência ao arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss. *Dissertação de Mestrado da UFV*. Viçosa, MG:, 2010.

BEZERRA, I. de S. e COUTINHO, R. Q. 2012. Estudo de Solo Grampeado através de Ensaio de Arrancamento realizado em Águas Claras - DF. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Porto de Galinhas, PE:, 2012.

BROWN, D. G. 1970. Uplift capacity of routed rock anchors. *Ontario Hydro Research Quarterly*. V.22, N.4, 18-24:, 1970. pp. 18-24.

BUSTAMANTE, M. e DOIX, B. 1985. Une méthode pour le calcul des tyrants et des micropieux injectées. *Bulletin des Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées*. 1985.

CARDOSO, A.J.M. S. 1987. A técnica das pregagens em solos aplicada em escavações. *Tese de Doutorado*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 1987.

CARTIER, G. e GIGAN, J. P. 1983. Experiments and observations on soil nailing structures. *Proceedings of the 8th European Conf. on S.M.F.E.* Helsinki, 1983. Vol. 2.

CARVALHO, M. A. R. 2009. Ancoragens pré-esforçadas em obras geotécnicas. *Dissertação de Doutorado*. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

CERQUEIRA SILVA, R. R. 2010. Comportamento de chumbadores ancorados em rocha, na região de Campos do Jordão. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Gramado, RS: ABMS, 2010.

CERQUEIRA SILVA, R. R. e PEREIRA, G. A. 2016. Verificação do desempenho de chumbadores realizados com injeção de bainha. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Belo Horizonte: ABMS, 2016.

CLOUTERRE. 1991. Recommendations Clouterre - Soil recommendations for designing, calculating, constructing and inspecting earth support systems using soil nailing. *French National Project Clouterre*. English Language Translation:, 1991.

COSTA NUNES, A. J. 1987. Ground Prestressing - First Casagrande Lecture. *VIII CPAMSEF*. Cartagena, Colombia:, 1987.

DANZIGER, F. A. B., DANZIGER, B. R. E CAVALCANTE, E. H. 2008 “Reflexões sobre a Energia no SPT e o Significado do Valor deN em Circunstâncias Particulares”, *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*, Búzios, RJ: ABMS, 2008.

DIAS SILVA, E. 2016. Influência do perfil de sucção no dimensionamento de solo grampeado em solo não saturado. *Dissertação de Mestrado da UFG*. Goiania:, 2016.

EHRlich, M. e SILVA, R. C. 2012. Resistência ao Arrancamento dos Grampos. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Porto de Galinhas, PE: ABMS, 2012.

EHRlich, M., BERGMAN, M. e GOMES, G. L. 2001. Ensaio de recarga em ancoragens de fios no morro da Urca. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Rio de Janeiro: ABMS, 2001.

FALCONI, F. 2005. Capacidade Geotécnica de Ancoragens reinjetáveis. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. SALVADOR: ABMS, 2005.

FALCONI, F. F. e ALONSO, U. R. 1996. Considerações sobre o dimensionamento de uma estrutura de contenção em solo grampeado. *Seminário de Engenharia de Fundações Especiais, SEFE III*. São Paulo: ABMS, 1996.

FEIJÓ, R. L. e EHRlich, M. 2006. Análise dos Resultados do Monitoramento de uma Obra Experimental em Solo Grampeado. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Curitiba: ABMS, 2006.

FEIJÓ, R. L. e EHRlich, M. 2001. Resultados de ensaios de arrancamento em grampos injetados em dois pontos do município do Rio de Janeiro. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Rio de Janeiro: ABMS, 2001.

FEIJÓ, R. L. e EHRlich, M. 2005. Resultados do monitoramento de uma obra experimental em solo grampeado. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. 2005.

FEIJO, R.L. 2007. Monitoração de uma escavação experimental grampeada em solo residual gnáissico não saturado. *Tese de Doutorado*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2007.

FRANÇA, F. A. N. de. 2007. Ensaio de arrancamento em solo grampeado executados em laboratório. *Dissertação de Mestrado da USP*. São Carlos:, 2007.

GEORIO. 1999. *Manual Técnico de Encostas*. Rio de Janeiro: Ortigão, J.A.R. e Sayão, A.S.F.J., 1999. 1ª edição.

GERSCOVICH, D. M. S.; ROSA, C. A. B.; LIMA, A. P.; SAGUIAS, G. R. S. 2013. Influência do processo executivo e tipo de solo na resistência ao arrancamento de

grampos. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Angra dos Reis: ABMS, 2013.

GOBBI, F.; FONINI, A.; BRESSANI, L. A.; MILAN, H. 2016. Realização de Ensaios de Arrancamento Instrumentados. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Minas Gerais: ABMS, 2016.

GOLDBACH, R., MENDONÇA, M. B. de e BECKER, L. de B. 2012. Análise da correlação entre a resistência ao arrancamento de grampos e o índice de resistência à penetração do ensaio SPT aplicada a um projeto de solo grampeado. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Porto de Galinhas, PE: ABMS, 2012.

GOTLIEB, M. e ALONSO, U. R. 1997. Estabilização de um Talude sem Alterar a Estética. *Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE)*. Rio de Janeiro: ABMS, 1997.

HACHICH, W. e CAMARGO, V.E.L.B. 2006. Sobre a contribuição dos grampos à estabilidade de estruturas de solo grampeado. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Curitiba: ABMS, 2006.

HLENKA, L., ODEBRECHT, E. e SILVA, T. P. da. 2010. Determinação da Resistência ao Arrancamento de Grampos. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Bahia: ABMS, 2010.

ISSMFE. 1989. International reference test procedure for the standard penetration test (SPT), *Technical committee on penetration testing of soils, with reference test procedures*, Report of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1989.

LAZARTE, C. A.; ELIAS, V.; ESPINOZA, D.; SABATINI, P. J. 2003. Soil nail walls - Report nº: FHWA-IF-03-017. *Geotechnical Engineering. Circular nº 7*. s.l. : Federal Highway Administration, D.C., 2003.

LEITE, R. A. 2007. Mobilização de Resistência ao Arrancamento de Grampos com Fibras de Polipropileno. *Dissertação de Mestrado da COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro:, 2007.

LEMOS, M. L. A. 1994. Estudo Experimental do Comportamento de Ancoragens em Rocha Sã do Rio de Janeiro. *Dissertação de Mestrado*. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 1994.

LIMA, A. P. 2002. Deformabilidade e estabilidade de taludes em solo grampeado. *Dissertação de Mestrado*. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2002.

LIMA, A. P. 2007. Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss. *Tese de Doutorado*. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2007.

LIMA, A. P. 2010. Estabilizações de Taludes em Solo Grampeado para uma PCH: Aspectos de Projeto e Monitoramento Geotécnico. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Gramado: ABMS, 2010.

LITTLEJOHN, G. S. e BRUCE, D. A. 1977. Rock Anchors: State of the Art. Essex, England: Foundation Publications Ltd., 1977.

LOZANO, M. H. e CASTRO, R. H. de. 2003. Algumas experiências em solo grampeado. *Workshop Solo Grampeado - Projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento*. São Paulo: ABMS-SINDUSCON-SP, 2003.

MAGALHÃES, M. A. 2005. Resistência ao arrancamento de grampos com fibras de polipropileno. *Dissertação de Mestrado COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro, 2005.

MEDEIROS, A. G. B.; COBUCCI, R. A.; CUNHA, R. P. da; CORTOPASSI, R. S.; BEZERRA, J. E.; SILVA, C. M. 2010. Simulação Numérica e Estudo do Comportamento de Estruturas de Contenção no Distrito Federal – Estudo de Caso. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Gramado, RS : ABMS, 2010.

MIRANDA, S. B. de. 2009. Estudo da resistência ao cisalhamento de interface em reforços unidirecionais. *Dissertação de Mestrado da USP*. São Carlos, 2009.

MITCHELL, J. K. e VILLET, W.C. B. 1987. Reinforcement of earth slopes and embankments. *NCHRP Report 290, Usa Transportation Research Board*. Washington D.C. : National Research Council, USA, 1987.

MORAES, L. J. e ARDUINO, E. G. A. 2003. Estabilização de talude por solo grampeado em Manaus-AM. *Workshop Solo Grampeado - Projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento*. São Paulo: ABMS-SINDUSCON-SP, 2003.

MORETTI, G. V.; PASCHOALIN FILHO, J. A.; MONTEIRO, D. A.; WOLLE, C. M. 2013. Ensaio de Arrancamento em Grampos Metálicos Executados em Aterros Rodoviários do Interior de São Paulo. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Angra dos Reis, RJ, ABMS, 2013.

MRS LOGÍSTICA. 2017. Arquivo. 2017.

NUNES, A. L. L. S. 2017. Arquivo Pessoal. 2017.

NUNES, A.L.L.S. e CASTILHOS, C.M. 2002. Mecanismos de mobilização de resistência lateral de estacas em arenito. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. 2002.

OLIVEIRA, A. de e OLIVEIRA, J. A. L. de. 2004. Ruptura de um talude com 15 metros de altura. Um exemplo de solução. *Reforça, Estaca Mega e Solo Grampeado, 35 anos*. São Paulo : REFORÇA, 2004.

OLIVEIRA, V. S. 2006. Análise de estabilidade bi e tridimensional de talude estabilizado em solo grampeado. *Dissertação de Mestrado da UFSC*. Florianópolis, 2006.

OLIVEIRA, V.S., FERREIRA, R.S. e OLIVEIRA, H.R. 2005. Análise de estabilidade no estudo de talude em solo grampeado. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Bahia: ABMS, 2005.

ORTIGÃO, J. A. R. e PALMEIRA, E. M. 1997. Optimised Design for Soil Nailed Walls. [ed.] 3rd. Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems. *3rd. Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems*. London: Telford, 1997. pp. 368-374.

ORTIGÃO, J. A. R. 1997. Ensaio de arrancamento em obras de Solo Grampeado. *Revista Solos e Rochas*. São Paulo, 1997.

ORTIGÃO, J. A. R.; DÁVILA, C. J. R.; SILVA, S. P.; MAIA, H. S. 1992. Solo Grampeado no Morro da Formiga. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Rio de Janeiro: ABMS, 1992.

PACHECO SILVA, D. 2009. Análise de diferentes metodologias executivas de solo pregado a partir de ensaios de arrancamento realizados em campo e laboratório. *Tese de Doutorado*. São Carlos: USP, 2009.

PACHECO SILVA, D.; MIRANDA, S. B.; PITTA, C. A.; BUENO, B. S. 2008. Análise de duas metodologias executivas de chumbadores a partir de ensaios de arrancamento em solo pregado. *Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia*. São Paulo, 2008.

PASSINI, L. de B., NUNES, A. L. L. S. e SAYÃO, A. S. F. J. 2012. Resistência ao Arrancamento de Grampos Convencionais e de Argamassa com Fibras de Polipropileno sem Barra. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*. Porto de Galinhas, PE: ABMS, 2012.

PINTO, C. P. e SILVEIRA, J. da. 2001. Projeto e Execução de Contensões na Linha Amarela - RJ. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Rio de Janeiro: ABMS, 2001.

PITTA, C. A. e ZIRLIS, A. C. 2000. Chumbadores Injetados: A Qualidade do Solo Grampeado. *Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia (SEFE)*. São Paulo, 2000.

PITTA, C. A., SOUZA, G.J. T. e ZIRLIS, A. C. 2003. Solo grampeado – aspectos executivos do chumbador. *Workshop Solo Grampeado - Projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento*. São Paulo: ABMS-SINDUSCON-SP, 2003.

PORTO, T. B. 2015. Proposta de metodologia via web para previsão e controle de ancoragens em solos. *Tese de Doutorado*. Ouro Preto, Minas Gerais: UFOP, 2015.

PROTO SILVA, T. 2005. Resistência ao arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss. *Dissertação de Mestrado PUC-RJ*. Rio de Janeiro, 2005.

RESENDE, C. de. 2014. Estudo de grampos em cortinas em solos tropicais na cidade de Goiânia. *Dissertação de Mestrado da UFG*. Goiânia, 2014.

ROEDEL, L.; CAETANO, M. C.; MIKOS, A. P.; FARO, V. P.; SESTREM, L. P. 2016. Potencial de Corrosão dos Solos em Cortinas Atirantadas. *Congresso*

Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG). Belo Horizonte, MG: ABMS, 2016.

SABATINI, P. J., PASS, D. G. e BACHUS, R. C. 1999. Geotechnical Engineering Circular nº 4. *FHWA-IF-99-015*. Washington: U.S. Department of Transportation, 1999.

SARÉ, A. R. 2007. Comportamento de escavação grampeada instrumentada em solo residual. *Tese de Doutorado*. Rio de Janeiro, RJ: PUC-RJ, 2007.

SCHLOSSER, F. e ELIAS, V. 1978. Friction in reinforced earth. *Proceedings of the ASCE Symposium on Earth Reinforcement*. San Francisco, USA, 1978.

SCHOLOSSER, F. 1983. Analogies et differences dans le comportement et le calcul des ouvrages de soutènement en terre armée et par clouage du sol. *Annales de L'Institut Technique de Batiment et des Travaux Publiques*. s.l. : Sols et Fondations, 1983.

SOARES, J. E. S. e GOMES, R. C. 2003. Um caso de obra de solo grampeado na encosta da BR-101 em Angra dos Reis, RJ. *Workshop Solo Grampeado - Projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento*. São Paulo: ABMS-SINDUSCON-SP, 2003.

SOBRAL, M. L. V. e FERRETTI, P. C. B. 2013. CONTENÇÃO e Estabilização de Aterro Rodoviário com Estrutura em Solo Reforçado e Geossintéticos na Rodovia RJ 158. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Angra dos Reis, RJ, ABMS, 2013.

SOLOTRAT. 2015. Manual de Tirantes - 2015. Acessado em 05 de Janeiro de 2017. www.solotrat.com.br.

SOLOTRAT. 2011. SOLOTRAT. *Informações Técnicas - Ensaio de tração em chumbadores* - 12/05/2011. Acessado em: 05 de março de 2017. http://www.solotrat.com.br/dados/planilha_resumo.pdf.

SOUZA, G. J. T. de, PITTA, C. A. e ZIRLIS, A. C. 2005. Solo Grampeado - Aspectos Executivos do Chumbador. *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*. Bahia: ABMS, 2005.

SOUZA, R. N. 2001. Ancoragens reinjetáveis e protendidas em solo: previsão de comportamento e controle de execução. *Tese de Doutorado*. São Paulo : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

SPRINGER, F. O. 2001. Estudos da Deformabilidade de Escavações com Solo Grampeado. *Dissertação de Mestrado*. Rio de Janeiro, RJ: PUC-RJ, 2001.

SPRINGER, F. O., GERSCOVICH, D. M. S. e SAYÃO, A. S. F. J. 2001. Deformabilidade de taludes estabilizados com solo grampeado. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro : *Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE)*, 2001. Vol. 1.

SPRINGER, F. O. 2006. Ensaios de arrancamento de grampos em solo residual de gnaíse. *Tese de Doutorado*. Rio de Janeiro, RJ: PUC-RJ, 2006.

TENGE ENGENHARIA. 2017. *TENGE TÉCNICAS DE ENGENHARIA*. Acessado em: 25 de junho de 2017. <http://www.tenge.eng.br/>.

ZIRLIS. 1999. *Solo Grampeado - Execução*. s.l.: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS), 1999.

ZIRLIS, A. C., PITTA, C. A. e SOUZA, G.J. T. 2003. Solo grampeado - Alguns detalhes executivos - Ensaios - Casos de Obra. *Workshop Solo Grampeado: projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento*. São Paulo, SP: ABMS-Sinduscon-SP, 2003.

ANEXO I: Banco de Dados

São apresentadas as tabelas que formam o banco de dados base desse trabalho, conforme Capítulo 3.

Tabela A1. 1 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1992).

| | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Morro da Formiga - Tijuca - RJ | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Solo Residual Silte Arenoso | 17 | 33 | 15 | - | 11 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 32 | 75 | 20 | 1 | 3 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 3 | - | - | 250* |
| 2 | 1 | 3 | 177 | - | 250 |
| 3 | 1 | 3 | 176 | - | 250 |
| * - Ruptura da barra de aço | | | | | |

Tabela A1. 2 - Resultados dos ensaios de arrancamento (LEMOS, 1994).

| | | | | | |
|--|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Rua Stefan Zweig - Vale das Laranjeiras, RJ | | | | |
| Tipo de reforço | | Chumbador | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Rocha sã Leptinito | - | - | - | - | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 & CA-85 | 32 | 60 | 15 | 3 | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| Rotativo com água | 0,15 da Carga de Escoamento (ISRM 1985) | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| A1LF | 1 | 1 ou 4* | 440** | 11 | 2122 |
| A2LF | 1 | 1 ou 4* | 440** | 8 | 2122 |
| A3LF | 1 | 1 ou 4* | 440** | 11 | 2122 |
| A4LL | 1 | 1 | 410 | 12,5 | 2175 |
| A5LL | 1 | 1 | 410 | 9,5 | 2175 |
| A6LL | 1 | 1 | 410 | 9,5 | 2175 |
| A7LL | 1 | 1 | 510 | 14 | 2706 |
| A8LL | 1 | 1 | 510 | 13 | 2706 |
| A9LL | 1 | 1 | 740 | 17,5 | 3623 |
| * - Sem garantia do comprimento livre de 3m. | | | | | |
| ** - Sem ruptura | | | | | |

Tabela A1. 3 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997).

| | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Brasília | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Argila Porosa | - | - | - | - | 1 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | 25 | 100, 120 e 150 | - | 0 | 2,5 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 4 | 81 | - | 64,5 |
| 2 | 1 | 4 | 101 | - | 67,0 |
| 3 | 1 | 4 | 121 | - | 64,2 |

Tabela A1. 4 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997).

| | | | | | |
|------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Edifício Trajano Reis, SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Silte arenoso | - | - | - | - | 13 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | 25 | 100 | - | E1: 2 | - |
| | | | | E2: 0,2 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 3,8 | 90 | - | 75,4 |
| 2 | 1 | 5 | 100 | - | 63,7 |

Tabela A1. 5 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997).

| | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Crítios, SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Silte arenoso | - | - | - | - | 15 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | 25 | 75 | - | 1 | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 2 | 110 | - | 233,4 |
| 2 | 1 | 2 | 120 | - | 254,6 |
| 3 | 1 | 2 | 110 | - | 233,4 |

Tabela A1. 6 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997).

| | | | | | |
|------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Águas Claras, DF, Brasília | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Metasiltito | - | - | - | - | 3 ou 4 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | 12,7 | 75 | - | 0 | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 3 | 89 | - | 125,9 |
| 2 | 1 | 3,5 | 109 | - | 132,2 |

Tabela A1. 7 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997).

| | | | | | |
|---|----------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Águas Claras, DF, Brasília | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Ardosia | - | - | - | - | media de 12 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | 12,7 | 75 | - | 0 | variavel |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 3,5 | 89 | - | 107,9 |
| 2 | 1 | 3,5 | 119 | - | 144,3 |
| 3 | 1 | 2 | 101 | - | 214,3 |
| 4 | 1 | 2 | 96 | - | 203,7 |
| 5* | 1 | 2 | 111 | - | 235,5 |
| 6* | 1 | 2 | 116 | - | 246,2 |
| 7** | 1 | 3,5 | 71 | - | 86,1 |
| 8** | 1 | 3,5 | 114 | - | 138,2 |
| 9 | 1 | 2 | 140 | - | 297,1 |
| 10 | 1 | 2 | 91 | - | 193,1 |
| 11 | 1 | 2 | 161 | - | 341,6 |
| 12 | 1 | 2 | 71 | - | 150,7 |
| * - SPT mais altos, em trono de 22 e 23 | | | | | |
| ** - SPT mais baixos, em torno de 2 | | | | | |

Tabela A1. 8 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ORTIGÃO et al., 1997).

| | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | GeoRio, RJ | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Colúvio | - | - | - | - | 7 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | 25 | 75 | - | 3 | 2,1 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 3 | 102 | - | 144,3 |

Tabela A1. 9 - Resultados dos ensaios de arrancamento (GOTLIEB et al., 1997).

| | | | | | |
|------------------------------|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Local | Próximo à Rodovia Regis Bitencourt - Embu - São Paulo | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Silte Arenoso Compacto | 18,5 | 21,5 | 45 | Não | Média de 5 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 16 | 102 | 20 | - | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| Ar comprimido | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1:perto da SPT2 | - | - | - | - | 29 |
| 2: perto da SPT2 | - | - | - | - | 29 |
| 3: perto da STP3 | - | - | - | - | 29 |

Tabela A1. 10 - Resultados dos ensaios de arrancamento (FEIJÓ et al., 2001).

| | | | | | |
|---|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Rua Ati, junto à Colina da Covanca - Jacarepaguá - RJ | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Solo Residual Maduro de Biotita Gnaisse | 15 | 42 | 16 | Não | 10 a 20 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA50 | 25,4 | 75 | 15 | 2 | Ensaio 1 a 4: 2 |
| | | | | | Ensaio 5 a 8: 3 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | Início: 10 kN | | - | - | |
| | Após 5 mm: 20 kN | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1: 6m* | 4 | 6 | - | 17 | 220 |
| 2: 6m | 4 | 6 | - | 24 | 190 |
| 3: 3m* | 4 | 3 | - | 8 | 160 |
| 4: 3m | 4 | 3 | - | 7 | 130 |
| 5: 6m* | 4 | 6 | - | 12 | 160 |
| 6: 6m | 4 | 6 | - | 12 | 210 |
| 7: 3m* | 4 | 3 | - | 23 | 410 |
| 8: 3m | 4 | 3 | - | 7 | 180 |
| * - grampos instrumentados | | | | | |

Tabela A1. 11 - Resultados dos ensaios de arrancamento (FEIJÓ et al., 2001).

| | | | | | |
|---|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------|
| Local | Rua Cardoso Júnior, Laranjeiras | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Solo Residual de Gnaisse- leptinitico | 17 | 38 | 60 | Não | entre 8 e 30 (média de 18) |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25,4 | 75 | 15 | 2 | Ensaio 1 a 4: 6 |
| | | | | | Ensaio 5 a 8: 11 |
| | | | | | Ensaio 9 a 12: 16 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | Início: 10 kN | | - | - | |
| | Após 5 mm: 20 kN | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1: 6m* | 4 | 6 | - | 10 | 95 |
| 2: 6m | 4 | 6 | - | 10 | 95 |
| 3: 3m* | 4 | 3 | - | 17 | 140 |
| 4: 3m | 4 | 3 | - | 16 | 75 |
| 5: 6m* | 4 | 6 | - | 15 | 125 |
| 6: 6m | 4 | 6 | - | 17 | 115 |
| 7: 3m* | 4 | 3 | - | 17 | 100 |
| 8: 3m | 4 | 3 | - | 10 | 190 |
| 9: 6m* | 4 | 6 | - | 27 | 220 |
| 10: 6m | 4 | 6 | - | 12 | 150 |
| 11: 3m* | 4 | 3 | - | 15 | 210 |
| 12: 3m | 4 | 3 | - | 20 | 285 |
| * - grampos instrumentados | | | | | |

Tabela A1.12 - Resultados dos ensaios de arrancamento (EHRlich et al., 2001).

| | | | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Morro da Urca - Rio de Janeiro | | | | |
| Tipo de reforço | | Chumbador | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Biotita Gnaisse | - | - | - | - | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| Fios | 12 x 6,3 | - | - | - | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | Norma de tirantes | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| C1-4 | - | - | 350 | 5 | - |
| Resultado não será considerado para Banco de Dados pois não é possível obter qs | | | | | |

Tabela A1. 13 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PINTO et al., 2001).

| | | | | | |
|------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Linha Amarela - Lote 2 (entre Freguesia e Encantado), RJ | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual | 16,9 | 30 | 33 | - | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA50 | 25 | 75 | 18 | 1 e 5 | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| teste 1 | - | 3 | 200 | 15 | 282,9 |
| teste 2 | - | 3 | 200 | 20 | 282,9 |
| teste 3 | - | 3 | 180 | 23 | 254,6 |

Tabela A1. 14 - Resultados dos ensaios de arrancamento (AZAMBUJA et al., 2001)

| | | | | | |
|------------------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|
| Local | Entre Av Tarso Dutra e Protássio Alves, Porto Alegre | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual de paragnaisse | 18 | 32 | 22 | | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA50 | 20 | 100 | 18 | | Varia entre 1,5 e 6,76 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| Roto- percussiva | 25% carga de trabalho | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | - | - | 6,5 | 260 |
| 2 | 1 | - | - | 7,8 | 264 |
| 3 | 1 | - | - | 15,76 | 261 |
| 4 | 1 | - | - | 9,3 | 270 |
| 5 | 1 | - | - | 5,4 | 210 |
| 6 | 1 | - | - | 10,73 | 204 |

Tabela A1. 15 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003).

| | | | | | |
|---------------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Local | Obra 355/500 – Hosp.Benef. Portuguesa/Rua Martiniano de Carvalho 969- Paraíso/SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Argila Vermelha Porosa Paulista | | | | | Cerca de 8 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50A | 20 | 75 | 0 | - | 2 a 4 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | 10 kN | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 6 | 128 | - | 91 |
| 2 | 1 | 6 | 176 | - | 124 |
| 4 | 2 | 6 | 199 | - | 141 |
| 5 | 3 | 6 | 212 | - | 150 |
| 6 | 3 | 6 | 221 | - | 156 |

Tabela A1. 16 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003).

| | | | | | |
|------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Obra 130 R.Indubel-Cumbica, Guarulhos/SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Silto Argiloso | | | | | 5 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50A | 20 | 75 | 5 | 0 | 2 a 4 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | 10 kN | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 4 | 77 | - | 82 |
| 2 | 1 | 4 | 77 | - | 82 |
| 3 | 1 | 4 | 84 | - | 89 |
| 4 | 1 | 4 | 77 | - | 82 |
| 5 | 1 | 4 | 70 | - | 74 |
| 6 | 1 | 4 | 97 | - | 103 |
| 7 | 2 | 4 | 119 | - | 126 |
| 8 | 2 | 4 | 112 | - | 119 |
| 9 | 2 | 4 | 119 | - | 126 |
| 10 | 2 | 4 | 112 | - | 119 |

Tabela A1. 17 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003).

| | | | | | |
|------------------------|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Local | Obra 268 – Av. Oscar Americano-Morumbi/SP-Hospital São Luiz | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Argilo Arenoso | | | | | 6 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50A | 20 | 75 | 5 | | 2 a 4 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | 10 kN | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 6 | 98 | - | 69 |
| 2 | 1 | 6 | 98 | - | 69 |
| 3 | 1 | 6 | 105 | - | 74 |
| 4 | 1 | 6 | 105 | - | 74 |
| 5 | 1 | 6 | 98 | - | 69 |
| 6 | 2 | 6 | 161 | - | 114 |
| 7 | 2 | 6 | 147 | - | 104 |
| 8 | 2 | 6 | 161 | - | 114 |
| 9 | 2 | 6 | 140 | - | 99 |
| 10 | 2 | 6 | 154 | - | 109 |

Tabela A1. 18 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003).

| | | | | | |
|--------------------------------|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Obra 479 –Rua Bahia 945/965 – Higienópolis/SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Argila Vermelha Paulista | | | | | 4 a 7 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50A | 20 | 75 | 0 | variável | 2 a 4 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | 10 kN | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 6 | 53 | - | 37 |
| 3 | 2 | 6 | 130 | - | 92 |
| 4 | 3 | 6 | 160 | - | 113 |
| 5 | 3 | 6 | 185 | - | 131 |
| 6 | 3 | 6 | 177 | - | 125 |
| 7 | 3 | 6 | 185 | - | 131 |
| 6 | 4 | 6 | 193 | - | 137 |
| 7 | 4 | 6 | 177 | - | 125 |
| 8 | 3 | 4 | 108 | - | 115 |
| 9 | 3 | 4 | 123 | - | 131 |
| 10 | 2 | 4 | 146 | - | 155 |
| 11 | 2 | 4 | 146 | - | 155 |
| 12 | 1 | 4 | 77 | - | 82 |
| 13 | 1 | 4 | 53 | - | 56 |

Tabela A1. 19 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PITTA et al., 2003).

| | | | | | |
|------------------------|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Obra 490 - R. Samia Hadadd 151 - Morumbi/SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Saprolito de Gnaiss | - | - | - | - | 5 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50A | 20 | 75 | 0 | 3 | 2 a 4 m |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | 10 kN | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 5 | 1 | 6 | 115 | - | 81 |
| 7 vertical | 2 | 6 | 146 | - | 103 |
| 8 vertical | 2 | 6 | 185 | - | 131 |
| 1 | 2 | 6 | 170 | - | 120 |
| 2 | 2 | 6 | 224 | - | 158 |
| 3 | 3 | 6 | 232 | - | 164 |
| 4 | 3 | 6 | 193 | - | 137 |

Tabela A1. 20 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOARES et al., 2003).

| | | | | | |
|---|--|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------|
| Local | | Encosta da BR 101 - Angra dos Reis | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| - | 19 | 30 | 5 | | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | 25 | 50 | 25 | 3 m - Para Injetados de 3 m | |
| | | | | 1 m - Para injetados de 5 m | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | 6 estágios de 15 kgf/cm² até 90 kgf/cm². Após, estágios de 5 kgf/cm² | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 3 | 126,9 | - | 269 |
| 2 | 1 | 3 | 132,9 | - | 282 |
| 3* | 1 | 5 | 206 | - | 262 |
| 4** | 1 | 5 | 293,5 | - | - |
| 33*** | 1 | 3 | 176,1 | - | 374 |
| 44 | 1 | 3 | 146,1 | - | 310 |
| * Sem ruptura, pois afundou a placa de apoio | | | | | |
| ** Problemas relativos à injeção, e ensaio descartado | | | | | |
| *** Interrupção do ensaio com grampo reensaiado | | | | | |

Tabela A1. 21 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MORAES et al., 2003).

| | | | | | |
|------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------|---|---|
| Local | Encosta em Zona Franca de Manaus | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Argilo-Arenoso | 18 | 30 | 5 | Oscila sazonalmente na camada de aria siltosa | Em torno de 9, crescente com a profundidade |
| Grampo | | | | | |
| Aço | ϕ aço (mm) | ϕ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 20 | 75 | Perpendicular ao Painei | 3 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | Estágios de 2,8 tf | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| Painel II | 1 | 3 | 84 | 1 | 119 |
| Painel IV | 1 | 3 | 84 | 2 | 119 |

Tabela A1. 22 - Resultados dos ensaios de arrancamento (ALONSO et al., 2003).

| | | | | | |
|---|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Av Wenceslau Bras, perto de Poços de Caldas, MG | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual silte areno- argiloso | 20 | 25 | 25 | | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 20 | 101,6 | - | - | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | - | - | - | - | 50 |
| 2 | - | - | - | - | 50 |

Tabela A1. 23 - Resultados dos ensaios de arrancamento (LOZANO et al., 2003).

| | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | | Cotia | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo/Chumbador | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| silte arenoso (origem: granito) | 16,5 | 24 | 32,4 | não tem | 8 a 13 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | 20 | 100 | - | - | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções*** | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| A* | 2 | | | | 54,11 |
| C** | 2 | | | | 127,32 |
| * Executado em solo residual | | | | | |
| ** Executado em rocha alterada | | | | | |
| *** Adotado igual a 2 considerando informações disponíveis | | | | | |

Tabela A1. 24 - Resultados dos ensaios de arrancamento (OLIVEIRA et al., 2004).

| | | | | | |
|--|---------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Supermercado em Cotia, SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo de alteração de granito (areia silto-argilosa) | 16 | 26 | 20 | não | 3 a 8 (media 5) |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| | | 100 | | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| Setor 04 - H12 | 1 | 8 | 110 | - | 43,93 |
| Setor 04 - H17 | 1 | 8 | 100 | - | 39,79 |
| Setor 07 - C10 | 2 | 7 | 150 | - | 68,11 |
| Setor 07 - C13 | 2 | 7 | 190 | - | 86,26 |
| 1: Área 1 | 1 | 5 | 22 | - | 14,01 |
| 2: Área 2 | 1 | 5 | 22 | - | 14,01 |
| 3: Área 1 | 2 | 5 | 98 | - | 62,39 |
| 4: Área 2 | 2 | 5 | 153 | - | 71,94 (97,40) |

Tabela A1. 25- Resultados dos ensaios de arrancamento (SOUZA et al., 2005).

| | | | | | |
|------------------------------|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Campo de Provas da Solotrat Engenharia - São Paulo/SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Silte arenoso com mica | - | - | - | - | em torno de 5 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | 16 | 75 | 15 | - | em torno de 3 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 7 | 1 | 6 | 50,1 | - | 35 |
| 8 | 1 | 6 | 37,6 | - | 27 |
| 12 | 2 | 6 | 100 | - | 71 |
| 10 | 2 | 6 | 56,4 | - | 40 |
| 9 | 3 | 6 | 62,7 | - | 44 |
| 11 | 3 | 6 | 75,2 | - | 53 |

Tabela A1. 26- Resultados dos ensaios de arrancamento (PROTO SILVA, 2005).

| | | | | | |
|---|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Morro do Palácio, Boa Viagem, Niterói | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual gnáissico argila arenosa | 16 | 29,6 | 36,4 | | 13 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-75 | 22 | 75 | 11,3 | 1 | 1,5 (cota de 35) |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | inicial: 20 kN; incremento: 8,5 kN | | sim | sim | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| AR01* | 2 | 3 | 117,1 | 5 | 166 |
| AR01** | 2 | 3 | 198,2 | 12 | SR** |
| * - Grampo instrumentado | | | | | |
| ** - Presença de cupinzeiro na área | | | | | |

Tabela A1. 27- Resultados dos ensaios de arrancamento (PROTO SILVA, 2005).

| | | | | | |
|---|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|
| Local | Morro do Palacio, Boa Viagem, Niterói | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual gnáissico areia argilosa | 18 | 36,4 | 59 | | linha 2: cerca de 25 |
| | | | | | linha 3 e 4: cerca de 40 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-75 | 22 | 75 | 11,3 | 1 | linha2: 9,5-cota 27 |
| | | | | | l.3: 15,5 - cota 21 |
| | | | | | l.4:19,5-cota 17,5 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | inicial: 20 kN; incremento: 8,5 kN | | sim | sim | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| AR02* | 2 | 3 | 150,4 | 20 | 216 |
| AR02 | 2 | 3 | 168,2 | 17 | 249 |
| AR03* | 2 | 3 | 190,1 | 23 | 269 |
| AR03 | 2 | 3 | 198,3 | 23 | 280 |
| AR04* | 2 | 3 | 182,6 | 25 | 258 |
| AR04 | 2 | 3 | 185,6 | 22 | 263 |
| * - grampo instrumentado | | | | | |

Tabela A1. 28 - Resultados dos ensaios de arrancamento (OLIVEIRA et al., 2005).

| | | | | | |
|--------------------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Aterro de rodovia estadual, São Pedro de Alcântara, SC | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| silte argiloso | 16 | 22 | 7 | - | 8 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 80 | 25 | - | cerca de 10 m |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1* | 1 | 3,5 | 93,16 | - | 85 |
| 2* | 1 | 3,5 | 93,16 | - | 85 |
| 3** | 1 | 1 | 26,62 | - | 85 |
| * - Sem ruptura | | | | | |
| ** - Dados de Oliveira et al. (2006) | | | | | |

Tabela A1. 29 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MAGALHÃES, 2005).

| | | | | | |
|---|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| Local | Morro do Palácio, Niterói, RJ | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual silte areno- argiloso | 18 | 36 | 59 | - | cerca de 25 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-75 | 22 | 75 | 10 | 0,5 | C11: cota 31 m C21: cota 22 m |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| C11* | 2 | 3,5 | 101,8 | 22,8 | 123 |
| C21** | 2 | 3,5 | 206,5 | 22,6 | 250 |
| * - solo residual maduro | | | | | |
| ** - solo residual jovem | | | | | |

Tabela A1. 30 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SPRINGER, 2006).

| | | | | | |
|---|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------------|
| Local | Morro do Palácio, Boa Viagem, Niterói (R. Fagundes Varela) | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT* |
| solo residual maduro e jovem de gnaiss silo- arenoso | 17,7 | 23,9 | 40,6 | | 30 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25,4 | 101,6 | 10 | 1 | Ensaio 1: 5 Ensaio 2 e 3: 1 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| ar comprimido | inicial: carga só para estabilizar; após, estágios de 8,2 kN | | sim | não | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 (FV-01) | 1 | 3 | 96 | 44 | 100 |
| 2 (FV-02) | 2 | 3 | 152 | 24 | 159 |
| 3 (FV-03) | 2 | 3 | 161 | 22 | 168 |
| * Valor NSPT estimado pela expressão para qs de SPRINGER (2006) | | | | | |

Tabela A1. 31 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SPRINGER, 2006).

| Local | | Morro do Palácio, Boa Viagem, Niterói (Museu 1) | | | |
|---|--|---|-----------------------|--------------------|------------------|
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual maduro, jovem e rocha alterada - argila arenosa | 17,6 | 32,8 | 19 | | 27 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25,4 | 101,6 | 10 | 1 | Ens. 4 e 5: 3 |
| | | | | | Ens. 6 a 9: 5 |
| | | | | | Ens. 10 a 13: 7 |
| | | | | | Ens. 14 a 17: 9 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | inicial: carga só para estabilizar; após, estágios de 8,2 kN | | Sim | sim | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 4 | 1 | 3 | 142 | 22 | 148 |
| 5 | 1 | 3 | 139 | 44 | 145 |
| 6* | 2 | 3 | - | - | - |
| 7** | 2 | 3 | 176 | 6 | 184 |
| 8** | 2 | 3 | 193 | 19 | 202 |
| 9 | 2 | 3 | 180 | 17 | 188 |
| 10 | 2 | 3 | - | - | - |
| 11** | 2 | 3 | 217 | 22 | 227 |
| 12** | 2 | 3 | 201 | 26 | 210 |
| 13** | 2 | 3 | 192 | 16 | 201 |
| 14*** | 1 | 3 | 111 | 76 | 116 |
| 15 | 1 | 3 | 129 | 22 | 135 |
| 16*** | 1 | 3 | 90 | 135 | 94 |
| 17*** | 1 | 3 | 124 | 156 | 129 |
| * Problema de execução de ensaio | | | | | |
| ** Sem ruptura | | | | | |
| *** Excesso de deslocamento | | | | | |

Tabela A1. 32 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SPRINGER, 2006).

| | | | | | |
|---|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|--|
| Local | Morro do Palácio, Boa Viagem, Niterói (Museu 1) | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual maduro, jovem e rocha alterada - argila arenosa | 17,6 | 35 | - | | 45 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-75 | 22 | 88,9 | 10 | 1 | Ens. 18 a 21: 19 Ens. 22 e 23: 21,6 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | inicial: carga só para estabilizar; após, estágios de 8,2 kN | | sim | sim | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 18 | 2 | 3 | 168 | 32 | 201 |
| 19 | 2 | 3 | - | - | - |
| 20* | 2 | 3 | 177 | 17 | 211 |
| 21 | 1 | 3 | 135 | 28 | 161 |
| 22** | 2 | 3 | 172 | 25 | 205 |
| 23** | 2 | 3 | 168 | 23 | 201 |
| * Reensaio do grampo 19 | | | | | |
| ** Ruptura no contato barra-nata | | | | | |

Tabela A1. 33 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SPRINGER, 2006).

| | | | | | |
|---|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Local | Morro do Palácio, Boa Viagem, Niterói (Museu 2) | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual maduro silte areno- argiloso | 16,6 | 29,6 | 36,4 | - | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-75 | 22 | 76,2 | 11 | 1 | 38,5 |
| | | | 18 | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | inicial: carga só para estabilizar; após, estágios de 8,2 kN | | sim | sim | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 24 (M2-01) | 1 | 3 | 172 | 12 | 240 |
| 25 (M2-02) | 2 | 3 | 126 | 11 | 180 |

Tabela A1. 34 - Resultados dos ensaios de arrancamento (FRANÇA, 2007).

| | | | | | |
|---|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Laboratório: Solo coletado em São Carlos/SP | | | | |
| Tipo de reforço | | grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| areia argilosa de media plasticidade | 17,85 | 34,6 | 30 | - | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 8 | 27 | 10 | - | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | velocidade média de 2,3 kN/min | | - | - | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1-2 | - | 1,3 | 18,6 | 2,41 | 166,0 |
| 2-2 | - | 1,3 | 17,6 | 2,22 | 157,1 |
| 2-6 | - | 1,3 | 15,1 | 4,87 | 135,2 |
| 3-2 | - | 1,3 | 16,3 | 3,18 | 145,9 |
| 3-6 | - | 1,3 | 15,8 | 3,38 | 140,9 |
| 4-2 | - | 1,3 | 13,7 | 2,13 | 122,5 |
| 4-4 | - | 1,3 | 18,1 | 2,78 | 161,7 |
| 4-6 | - | 1,3 | 15,2 | 2,71 | 135,9 |
| 5-2 | - | 1,3 | 15,5 | 1,58 | 138,3 |
| 5-6 | - | 1,3 | 14,9 | 2,79 | 133,0 |
| 6-2 | - | 1,3 | 14,1 | 2,85 | 125,8 |
| 6-4 | - | 1,3 | 19,6 | 3,15 | 175,1 |
| 6-5 | - | 1,3 | 19,8 | 4,32 | 176,8 |
| 6-6 | - | 1,3 | 15,8 | 1,86 | 141,0 |

Tabela A1. 35 - Resultados dos ensaios de arrancamento (LEITE, 2007).

| | | | | | |
|--|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Santa Cruz da Serra- Duque de Caxias, RJ | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual maduro silto- arenoso | - | - | - | - | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50B | 32 | 75 | 15 | 0,5 | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| ar comprimido | cerca de 1MPa | | sim | sim | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| GC 31 | 2 | 3,5 | 134,8 | 22,9 | 454 |
| GC 32 | 2 | 3,5 | 92,2 | 12,7 | 311 |

Tabela A1. 36 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA et al., 2008).

| | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|
| Local | | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual jovem argila silto- arenosa | | | | | entre 3 e 9 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | ϕ aço (mm) | ϕ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 75 | 10 | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| Perfuratriz manual | 5 kN | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| A | 1 | 3 | 40,7 | 13,1 | 57,6 |
| B | 1 | 3 | 27,8 | 6,5 | 39,4 |
| C | 1 | 6 | 127,2 | 16,4 | 90,0 |
| D | 3 | 3 | 112,4 | 7,1 | 112,4 ⁽¹⁵⁹⁾ |
| E | 3 | 6 | 176,2 | 10,5 | 124,6 |

Tabela A1. 37 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA, 2009).

| | | | | | |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Santo André, SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| argila silto arenosa | 14 | 31,1 | 21 | 5,4 | 3 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 76 | 10 | 1 | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | velocidade constante de 0,5 kN/min | | sim | sim | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| Linha 2 -1* | 4 | 6 | | | |
| Linha 2 -2 | 1 | 3 | 40,7 | 11,9 | 56,7 |
| Linha 2 -3 | 3 | 3 | 91,5 | 10,4 | 127,4 |
| Linha 2 -4* | 3 | 6 | | | - |
| Linha 2 -5 | 1 | 3 | 27,9 | 8,3 | 38,8 |
| Linha 2 -6 | 1 | 6 | 125 | 13,9 | 87,1 |
| Linha 2 -7 | 3 | 3 | 85,8 | 13,7 | 119,5 |
| Linha 2 -8** | 3 | 6 | 73,6 | 7,2 | 51,2 |
| Linha 2 -9 | 2 | 3 | 36,2 | 7 | 50,4 |
| Linha 2 -10 | 2 | 6 | 197,3 | 19,3 | 137,3 |
| Linha 2 -11 | 4 | 3 | 79,4 | 7,1 | 110,6 |
| Linha 2 -12** | 4 | 6 | 176,2 | 12,6 | 122,6 |
| Linha 2 -13 | 4 | 3 | 133,8 | 14,1 | 186,3 |
| Linha 2 -14** | 4 | 6 | 179,4 | 10,8 | 124,9 |
| * ensaio não realizado | | | | | |
| ** sem ruptura | | | | | |

Tabela A1. 38 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA, 2009).

| | | | | | |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Santo André, SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| argila silto arenosa | 18 | 22,9 | 70 | 5,4 | 5 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 76 | 10 | 1 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | velocidade constante de 0,5 kN/min | | sim | sim | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| Linha 5- 15 | 1 | 6 | 91,4 | 13,1 | 63,7 |
| Linha 5- 16 | 1 | 3 | 71,1 | 18 | 99,1 |
| Linha 5- 17 | 3 | 3 | 87,8 | 18,7 | 122,2 |
| Linha 5- 18 | 3 | 3 | 95,5 | 25,2 | 133 |
| Linha 5- 19 | 1 | 3 | 45,2 | 15,5 | 63 |
| Linha 5- 20 | 1 | 6 | 82,4 | 28,1 | 57,4 |
| Linha 5- 21 | 3 | 3 | 107,3 | 22 | 149,4 |
| Linha 5- 22 | 3 | 3 | 75,4 | 18 | 105 |
| Linha 5- 23 | 2 | 3 | 82,3 | 24,4 | 114,6 |
| Linha 5- 24 | 2 | 6 | 171,8 | 15,9 | 119,6 |
| Linha 5- 25* | 4 | 3 | 154 | 10,7 | 214,4 |
| Linha 5- 26* | 4 | 3 | 159,7 | 8,7 | 222,4 |
| Linha 5- 27 | 4 | 3 | 98,9 | 21,7 | 137,7 |
| Linha 5- 28 | 4 | 3 | 145,5 | 28,9 | 202,6 |
| * sem ruptura | | | | | |

Tabela A1. 39 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA, 2009).

| | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Osasco, SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| argila porosa arenosa | 17 | 31,5 | 18,5 | 5,4 | 3 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 76 | 10 | 1 | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | velocidade constante de 0,5 kN/min | | sim | sim | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| Linha 3-1 | 1 | 6 | 99,9 | 25,8 | 69,6 |
| Linha 3-2 | 1 | 3 | 55,5 | 10,9 | 77,3 |
| Linha 3-3 | 2 | 6 | 157,8 | 28,6 | 109,9 |
| Linha 3-4 | 2 | 3 | 68,8 | 7,6 | 95,8 |
| Linha 3-5 | 3 | 6 | 180,1 | 21,3 | 125,4 |
| Linha 3-6 | 3 | 3 | 101,3 | 12,4 | 141,1 |
| Linha 3-7 | 4 | 3 | 125,3 | 9,5 | 174,4 |
| Linha 3-8 | 4 | 3 | 89,5 | 7,6 | 124,6 |
| Linha 3-9 | 3 | 3 | 88,9 | 7,3 | 123,7 |
| Linha 3-10* | 3 | 3 | | | - |
| Linha 3-11 | 4 | 3 | 77,1 | 6 | 107,3 |
| Linha 3-12 | 4 | 3 | 82,7 | 12,6 | 115,1 |
| * problemas na aquisição de dados | | | | | |

Tabela A1. 40 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA, 2009).

| | | | | | |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Osasco, SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| silte arenoso | 19 | 28,7 | 35,5 | 5,4 | 5 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 76 | 10 | 1 | - |
| | | | | 0,3 para L=1 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | velocidade constante de 0,5 kN/min | | sim | sim | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| Linha 5-13 | 1 | 6 | 184,1 | 28,8 | 128,2 |
| Linha 5-14 | 1 | 3 | 110,2 | 14,2 | 153,4 |
| Linha 5-15* | 2 | 6 | 202,5 | 13,2 | 141 |
| Linha 5-16 | 2 | 3 | 152,6 | 20,7 | 212,5 |
| Linha 5-17* | 3 | 6 | 202,3 | 12,3 | 140,8 |
| Linha 5-18 | 3 | 3 | 121,5 | 28,5 | 169,2 |
| Linha 5-19 | 4 | 3 | 125 | 18,8 | 174,1 |
| Linha 5-20 | 4 | 3 | 147,9 | 15,4 | 205,9 |
| Linha 5-21 | 3 | 3 | 114,8 | 21,6 | 159,8 |
| Linha 5-22 | 3 | 3 | 112 | 24,8 | 156 |
| Linha 5-23 | 4 | 3 | 127,3 | 29,4 | 177,2 |
| Linha 5-24 | 4 | 3 | 124,7 | 21,8 | 173,6 |
| Linha 5-E1 | 1 | 1 | 39,7 | 14,4 | 166 |
| Linha 5-E2 | 2 | 1 | 30,6 | 6,3 | 128 |
| * não atingiu a ruptura | | | | | |

Tabela A1. 41 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PACHECO SILVA, 2009).

| | | | | | |
|------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Laboratório: solo do Campus II da USP/São Carlos | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| areia argilosa | 18 | 36 | 28,5 | - | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 8 | 38 | - | 0,3 | linha 1: 0,1 |
| | | | | | linha 2: 0,4 |
| | | | | | linha 3: 0,7 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | velocidade constante de 0,5 kN/min | | sim | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| Linha 1 -1 | 1 | 1 | 7,02 | 1,00 | 59,13 |
| Linha 1 -2 | 2 | 1 | 7,48 | 1,88 | 63,01 |
| Linha 1 -3 | 3 | 1 | 11,09 | 4,94 | 93,39 |
| Linha 2 -1 | 1 | 1 | 7,68 | 1,45 | 64,73 |
| Linha 2 -2 | 2 | 1 | 8,2 | 2,99 | 69,08 |
| Linha 2 - 3 | 3 | 1 | 10,48 | 5,47 | 88,26 |
| Linha 3 -1 | 1 | 1 | 9,33 | 1,94 | 78,58 |
| Linha 3 -2 | 2 | 1 | 10,06 | 1,98 | 84,79 |
| Linha 3 -3 | 3 | 1 | 10,82 | 3,46 | 91,19 |

Tabela A1. 42 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MIRANDA, 2009).

| | | | | | |
|------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Laboratório: solo do Campus II da USP/São Carlos | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| areia argilosa | 18 | 36 | 28,5 | não | - |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 86 | - | 0,3 | cerca de 25 cm |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| trado manual | velocidade constante de 0,5 kN/min | | sim | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| CP | 2 | 1 | 17,86 | 1,99 | 65,78 |

Tabela A1. 43 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MIRANDA, 2009).

| | | | | | |
|---|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Entre a R. Padre Vicente melillo e Av. Bussocaba, Osasco-SP | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT* |
| solo saprolítico de areia fina, pouco siltosa | - | 38,9 | 26,8 | - | 4 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 86 | 10 | 0,3 | 4,8 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| Água | velocidade constante de 0,5 kN/min | | sim | sim | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| E1 | 1 | 1 | 39,7 | 14,4 | 168,7 (147) |
| E2 | 2 | 1 | 30,6 | 6,3 | 130 (113) |
| * mesmo solo de LIMA (2009) e PACHECO SILVA (2009) | | | | | |

Tabela A1. 44 - Resultados dos ensaios de arrancamento (HLENKA et al., 2010).

| | | | | | |
|---|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Joinville Garten Shopping - Joinville - SC | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| silte argiloso | 17,5 | 33 | 23,5 | - | 9 ou 10 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | - | 76 | - | - | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| AR01 | - | 3 | 68,3 | - | 95,0 |
| AR02* | - | 3 | 86,7 | - | 120,7 |
| AR03* | - | 3 | 66,6 | - | 92,8 |
| AR04* | - | 6 | 106,6 | - | 74,2 |
| * ensaio interrompido antes do arrancamento e ruptura extrapolada pelo método de Van der Veen | | | | | |

Tabela A1. 45 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MEDEIROS et al., 2010).

| | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Asa Sul, Brasília | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| silte arenoso | 15,5 | 36 | 35 | | em torno de 25 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| | | 100 | | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| G1 | 1 | 11,2 | 130 | - | 44,98 (36,9) |
| G2 | 1 | 11,2 | 160 | - | 55,36 (45,5) |
| G3 | 1 | 11,2 | 145 | - | 41,21 |
| G4 | 1 | 11,2 | 130 | - | 36,95 |

Tabela A1. 46 - Resultados dos ensaios de arrancamento (LIMA, 2010).

| | | | | | |
|------------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|
| Local | Taludes adjacentes a PCH Braço no Estado do RJ - entre Rio Claro (RJ) e Bananal (SP) | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| argila arenosa | 18 | 27 | 15 | - | 5 a 20, crescente na prof |
| saprolito de rocha gnaissica | 19 | 32 | 35 | contato rocha | >30 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 100 | - | - | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | - | 4 ou 5 | | | 156 |
| 2 | - | 4 ou 5 | | | 195 |

Tabela A1. 47 - Resultados dos ensaios de arrancamento (CERQUEIRA SILVA, 2010).

| | | | | | |
|--|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Linha férrea de Campos do Jordão (km 23) | | | | |
| Tipo de reforço | | chumbador | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| rocha arenosa | | | | não | - * |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo** (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 16 | 100 | | 1 | 4 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| ar comprimido | múltiplos estágios de 20kgf/cm² | | | não | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 2 | 3 | 191 | 7 | 203 |
| 2 | 2 | 3 | 131 | 11 | 139 |
| 3 | 2 | 3 | 131 | 7 | 139 |
| * valor de NSPT adotado (material rochoso) | | | | | |
| ** diâmetro estimado com base em fotografias | | | | | |

Tabela A1. 48 - Resultados dos ensaios de arrancamento (BELONI, 2010).

| | | | | | |
|--|--|---------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Centro Psicossocial da UFV - Minas Gerais | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual de gnaiss, argila arenosa | 13 | 27 | 29 | - | Ens. 1 a 6: 3 |
| | | | | | Ens. 7 a 12: 6 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 15 | 88 | 15 | - | Ens. 1 a 6: 2 |
| | | | | | Ens. 7 a 12: 3,5 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | inicial: 5,34 kN; incrementos variáveis | | - | - | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m)* | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 1 | 5,3 | 89,1 | 7,18 | 60,81 |
| 2 | 1 | 5,3 | 109,9 | 10,09 | 75,00 |
| 3 | 1 | 5,3 | 107,9 | 17,2 | 73,64 |
| 4 | 1 | 5,3 | 111,2 | 12,91 | 75,89 |
| 5 | 1 | 5,3 | 69,8 | 9,85 | 47,64 |
| 6 | 1 | 5,3 | 69,8 | 12,63 | 46,95 |
| 7 | 1 | 5,3 | 120,1 | 22,9 | 81,69 |
| 8 | 1 | 5,3 | 119,3 | 15,91 | 81,69 |
| 9 | 1 | 5,3 | 109,1 | 14,83 | 74,46 |
| 10 | 1 | 5,3 | 117,5 | 16,47 | 80,19 |
| 11 | 1 | 5,3 | 105,7 | 10,75 | 72,14 |
| 12 | 1 | 5,3 | 115,8 | 9,36 | 79,03 |
| * valor estimado de acordo com qs | | | | | |

Tabela A1. 49 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PASSINI et al., 2012).

| | | | | | |
|---|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Condomínio Residencial no Rio de Janeiro | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual jovem de gnaisse (3m) | 17,69 | 37 | 0 | | 45 |
| rocha alterada | 19,56 | 54 | 0 | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | ϕ aço (mm) | ϕ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| - | 32 | 101,6 | 15 | 1 | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | 10 kgf/cm² | | sim | sim | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| GC-1 | 1 | 3 | 478 | 27,4 | 507 |
| GC-2 | 1 | 3 | 503 | 26,1 | 534 |
| GC-3 | 1 | 3 | 490 | 30,9 | 520 |
| GC-4 | 1 | 3 | 480 | 27,2 | 509 |
| GC-5 | 1 | 3 | 464 | 30,9 | 493 |
| GC-6 | 1 | 3 | 503 | 31,6 | 534 |

Tabela A1. 50 - Resultados dos ensaios de arrancamento (BEZERRA et al., 2012).

| | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|--|
| Local | Águas Claras - DF | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual de alteração de ardósia, silte argiloso | 15,55 | 31 | 15 | | 8 a 12, crescente com a profundidade |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| DW ST90/110 | 15 | 140 | 5 | 0,6 | - |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | - | | - | - | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| G1 | 1 | 4 | 60,98 | 6,06 | 33,18 |
| G2 | 1 | 4 | | | 33,18 |
| G3 | 1 | 4 | | | 37,92 |
| G4 | 1 | 4 | 69,30 | 15,80 | 37,92 |
| G8 | 1 | 4 | | | 42,66 |
| G9 | 1 | 4 | | | 37,92 |
| G10 | 1 | 4 | 63,75 | 13,22 | 33,18 |
| G11 | 1 | 4 | | | 37,92 |
| G12 | 1 | 4 | | | 37,92 |
| G13 | 1 | 4 | 58,21 | 7,45 | 33,18 |
| G14 | 1 | 4 | | | 33,18 |
| G15 | 1 | 4 | | | 33,18 |
| G5 | 2 | 4 | 138,60 | 13,88 | 80,57 |
| G6 | 2 | 4 | | | 80,57 |
| G7 | 2 | 4 | | | 75,83 |

Tabela A1. 51 - Resultados dos ensaios de arrancamento (GOLDBACH et al., 2012).

| | | | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | R. Rosalvo Costa Rego, 146, Itanhangá, Rio de Janeiro | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| areia fina e média siltosa | | | | não tem | Ensaio 1: 15 |
| | | | | | Ensaio 2: 16 |
| | | | | | Ensaio 3: 30/15 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| DW ST85/105 | 32 | 100 | 15 | 2,2 | Ensaio 1: 2 |
| | | | | | Ensaio 2: 3 |
| | | | | | Ensaio 3: 4 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| - | 50 kN | | - | - | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1- prof 2 | 1 | 2 | - | 14 | 215 |
| 2- prof 3 | 1 | 2 | - | 18 | 322 |
| 3 - prof 4 | 1 | 2 | - | 24 | 560 |

Tabela A1. 52 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MORETTI et al., 2013).

| | | | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Aterro rodoviário na Rodovia Castello Branco, SP | | | | |
| Tipo de reforço | | | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| aterro silto argiloso | | | | | varia de 4 a 7 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 20 | 110 | 15 | 1 | E1 e E2: 0,5 |
| | | | | | E3: 2 |
| | | | | | E4: 3,5 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| Ar comprimido | menor que 20% (GEORIO) | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| E1 | 2 | 3 | 74 | 8 | 71,8 |
| E2 | 2 | 3 | 74 | 6 | 71,8 |
| E3 | 2 | 3 | 98,4 | 10,8 | 95,5 |
| E4 | 2 | 3 | 124 | 14,8 | 120,4 |

Tabela A1. 53 - Resultados dos ensaios de arrancamento (RESENDE, 2014).

| | | | | | |
|-------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| Local | | Goiânia, Goiás | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| argila-silte arenoso | 15,7 | 37 | 44,4 | | varia de 2 a 6 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 20 | 100 | 20 | GM2: 2,5 | GM1-3: cota 97,43 |
| | | | | GM5: 1,5 | GM4-6: cota 94,94 |
| | | | | outros: 0 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | NBR 5626 (2006) | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| GM1* | 2 | 9 | 144,5 | 28,17 | 51 |
| GM2* | 2 | 6,5 | 137,5 | 36 | 67 |
| GM3* | 2 | 9 | 123 | 29,19 | 44 |
| GM4* | 2 | 11 | 204 | 22,3 | 59 |
| GM5* | 2 | 9,5 | 187 | 24,71 | 63 |
| GM6* | 2 | 11 | 204 | 21,14 | 59 |
| * sem ruptura | | | | | |

Tabela A1. 54 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015).

| | | | | | |
|--|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Local | Praça Clovis Bevilacqua, São Paulo | | | | |
| Tipo de reforço | | Tirantes | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Areia fina siltosa | 18 | 27,5 | 20 | | 5 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | Area de aço (mm²) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| Fios | 804 | 114 | 15 | 10 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| Água | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa)** |
| T1* | 2 | 9 | 900 | | 140 |
| T2* | 2 | 9 | 900 | | 140 |
| T3* | 2 | 9 | 900 | | 140 |
| T4 | 2 | 9 | 675 | | 105 |
| T4R | 2 | 9 | 900 | | 140 |
| * sem ruptura | | | | | |
| ** qs calculado considerando o dobro do diâmetro do furo | | | | | |

Tabela A1. 55 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015).

| | | | | | |
|--|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Praça Clovis Bevilacqua, São Paulo | | | | |
| Tipo de reforço | | Tirantes | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Argila siltosa | 19 | 29,83 | 0 | | 11 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | Area de aço (mm²) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| Fios | 603,6 | 114 | 15 | 10,5 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa)** |
| T1* | 2 | 7 | 680 | 71,5 | 136 |
| T2 | 2 | 3,5 | 500 | 45 | 199 |
| T2R | 2 | 3,5 | 550 | 50 | 219 |
| * sem ruptura | | | | | |
| ** qs calculado considerando o dobro do diâmetro do furo | | | | | |

Tabela A1. 56 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015).

| | | | | | |
|--|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Local | Praça Clovis Bevilacqua, São Paulo | | | | |
| Tipo de reforço | | Tirantes | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Argila silto-arenosa | 19 | 0 | 100 | | 23 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | Area de aço (mm²) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| Fios | 603,6 | 114 | 10,5 | 10,5 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa)** |
| T3* | 2 | 7 | 680 | 61 | 136 |
| T4* | 2 | 7 | 680 | 64,5 | 136 |
| * sem ruptura | | | | | |
| ** qs calculado considerando o dobro do diâmetro do furo | | | | | |

Tabela A1. 57 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015).

| | | | | | |
|--|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Local | Praça Clovis Bevilacqua, São Paulo | | | | |
| Tipo de reforço | | Tirantes | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| Argila arenosa | 20 | 22 | 20 | | 38 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | Area de aço (mm²) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| Cordoalhas | 789,6 | 114 | 15 | 13,5 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa)** |
| EB1* | 3 | 7 | 1080 | 113 | 215 |
| EB2* | 3 | 7 | 1080 | 112 | 215 |
| EB3* | 3 | 7 | 1080 | 138 | 215 |
| * sem ruptura | | | | | |
| ** qs calculado considerando o dobro do diâmetro do furo | | | | | |

Tabela A1. 58 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015).

| | | | | | |
|--|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Local | Praça Clovis Bevilacqua, São Paulo | | | | |
| Tipo de reforço | | Tirantes | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| areia argilosa | 19 | 34 | 10 | | 10 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | Area de aço (mm²) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| Cordoalhas | 789,6 | 114 | 15 | 13,5 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa)** |
| EB4 | 3 | 3,5 | 750 | 87 | 299 |
| EB4-R | 3 | 3,5 | 1040 | 110 | 415 |
| ** qs calculado considerando o dobro do diâmetro do furo | | | | | |

Tabela A1. 59 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015).

| | | | | | |
|--|------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------------|
| Local | Praça Continental, São Paulo | | | | |
| Tipo de reforço | | Tirantes | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| areia argilosa | 18 | 20 | 10 | | 7 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | Area de aço (mm²) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| Cordoalhas | 789,6 | 117 | 15 | 12,5 | 7 (exceto T8R e TA, que é 6) |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa)** |
| T5 | 3 | 7 | 1047 | 118 | 203 |
| T5-R | 3 | 7 | 1140 | 132 | 222 |
| T6* | 3 | 7 | 962 | 111 | 187 |
| T7* | 3 | 7 | 1145 | 133 | 223 |
| T8 | 3 | 3,5 | 580 | 79 | 225 |
| T8-R | 3 | 3,5 | 752 | 83 | 292 |
| TA* | 3 | 9 | 1145 | 151 | 173 |
| TB* | 3 | 9 | 1140 | 139 | 172 |
| TC* | 3 | 9 | 1140 | 140 | 172 |
| TD | 3 | 4,5 | 673 | 66 | 203 |
| TD-R | 3 | 4,5 | 752 | 79 | 227 |
| T1* | 3 | 9 | 1140 | 126 | 172 |
| T3* | 3 | 9 | 1140 | 134 | 172 |
| T4* | 3 | 4,5 | 947 | 113 | 286 |
| * sem ruptura | | | | | |
| ** qs calculado considerando o dobro do diâmetro do furo | | | | | |

Tabela A1. 60 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015).

| | | | | | |
|--|------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Local | Estação Patriarca, São Paulo | | | | |
| Tipo de reforço | | Tirantes | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| areia argilosa | 19 | 26 | 50 | | 13 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | Area de aço (mm²) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| Fios | 603,6 | 114 | 12 | 7,5 | 6 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa)** |
| T1* | 3 | 6 | 740 | 63 | 172 |
| T2* | 3 | 6 | 850 | 78 | 198 |
| T3* | 3 | 6 | 740 | 60 | 172 |
| T4 | 3 | 3 | 615 | 43 | 286 |
| T4-R | 3 | 3 | 495 | 35 | 230 |
| * não foram levados a ruptura | | | | | |
| ** qs calculado considerando o dobro do diâmetro do furo | | | | | |

Tabela A1. 61 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015).

| | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Local | Taboão da Serra | | | | |
| Tipo de reforço | | Tirantes | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| silte areno- argiloso | 20 | 40 | 40 | | 24 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | Area de aço (mm²) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| Cordoalhas | 789,6 | 100 | 22 | 9,5 | 6 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| T1* | 3 | 8 | 1285 | 86 | 256 |
| T2* | 3 | 8 | 1285 | 86 | 256 |
| T3* | 3 | 8 | 1285 | 80 | 256 |
| T4* | 3 | 8 | 1285 | 81 | 256 |
| * sem ruptura | | | | | |
| ** qs calculado considerando o dobro do diâmetro do furo | | | | | |

Tabela A1. 62 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015).

| | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Jandira, São Paulo | | | | |
| Tipo de reforço | | Tirantes | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| silte argilo- arenoso | 19 | 34 | 20 | | 11 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | Area de aço (mm²) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| Cordoalhas | 789,6 | 114 | 15 | T2: 10,5 | 10 |
| | | | | Outros: 6,5 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa)** |
| T1* | 3 | 8 | 1200 | 63 | 209 |
| T2* | 3 | 4 | 1200 | 92 | 419 |
| T4* | 3 | 8 | 1200 | 67 | 209 |
| T6* | 3 | 8 | 1200 | 64 | 209 |
| * sem ruptura | | | | | |
| ** qs calculado considerando o dobro do diâmetro do furo | | | | | |

Tabela A1. 63 - Resultados dos ensaios de arrancamento (PORTO, 2015).

| Local | | Esmeraldas, MG | | | |
|---|--|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| Tipo de reforço | | Tirantes | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual, alteração de rocha, areia pouco argilosa | 15 | 31,4 | 12 | | 6 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| DW ST85/105 | 32 | 100 | 20 | 4 | 10 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | NBT 5629 (2006), ensaio de recebimento tipo A | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocament o (mm) | q _s (kPa)** |
| 1 | A-1 | 3 | 130 | | 69 |
| 2 | A-1 | 3 | 165 | | 88 |
| 3 | B-2 | 3 | 165 | | 88 |
| 4 | B-2 | 3 | 320 | | 170 |
| 5 | C-2 | 3 | 130 | | 69 |
| 6 | C-2 | 3 | 75 | | 40 |
| 7 | D-2 | 3 | 220 | | 117 |
| 8 | D-2 | 3 | 305 | | 162 |
| 9 | E-2 | 3 | 235 | | 125 |
| 10 | E-2 | 3 | 235 | | 125 |
| 11 | F-2 | 3 | 170 | | 90 |
| 12 | F-2 | 3 | 250 | | 133 |

Legenda:

A-1: 1 injeção (só bainha)

B-2: 2 injeções, obturador simples na última manchete

C-2: 2 injeções, obturador simples

D-2: 2 injeções, obturador duplo

E-2: 2 injeções, obturador duplo com volume maior

F-2: 2 injeções, obturador duplo com pressão maior

** q_s calculado considerando o dobro do diâmetro do furo

Tabela A1. 64 - Resultados dos ensaios de arrancamento (GOBBI et al., 2016).

| | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------------|
| Local | | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| itabirito friável, areia siltosa | 30,6 | 36 | 20,4 | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | tensão vertical média (kPa) |
| - | - | 90 | - | - | 111 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | NBR 5629 (2006) | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| barra 1 | 1 | 2 | 163,2 | 9,99 | 283,1 |
| barra 2* | 1 | 2 | 181 | 4,86 | 314,4 |
| * sem ruptura | | | | | |

Tabela A1. 65 - Resultados dos ensaios de arrancamento (CERQUEIRA SILVA et al., 2016).

| | | | | | |
|----------------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | - | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solos de baixa permeabilidade | | | | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| TOR23B | 21 | 100 | | 8 | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| ar comprimido | 0,025f; 0,125f; 0,250f; 0,375f, 0,500f; 0,625f; 0,750f; 0,875f; 1f; 1,25f; 1,5f; sendo 1,5f=Força de escoamento do aço | | | não | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| E1* | 1 | 3 | 99 | | 105 |
| E2* | 1 | 3 | 99 | | 105 |
| E3* | 1 | 3 | 99 | | 105 |
| * não alcançou a ruptura | | | | | |

Tabela A1. 66 - Resultados dos ensaios de arrancamento (DIAS SILVA, 2016).

| | | | | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Setor Bueno, Goiânia | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| argila siltosa | 15 | 36,8 | 13,6 | | 3 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| | | 101,6 | 15 | | Ens. 2: 2 |
| | | | | | Ens. 3: 3,5 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| ar comprimido | NBR 5629/2006, Qualificação | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 2* | - | 10 | 200 | | 62,66 |
| 3** | - | 14 | 480 | | 107,42 |
| * sem ruptura, mas a carga não estabilizou | | | | | |
| ** sem ruptura | | | | | |

Tabela A1. 67 - Resultados dos ensaios de arrancamento (DIAS SILVA, 2016).

| | | | | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Setor Bueno, Goiânia | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| silte argiloso | 17 | 36,6 | 21,26 | | 3 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| | | 101,6 | 15 | | 7 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| ar comprimido | NBR 5629/2006, Qualificação | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1* | - | 16 | 490 | | 95,95 |
| * sem ruptura, mas a carga não estabilizou | | | | | |

Tabela A1. 68 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOLOTRAT, 2011).

| | | | | | |
|---|------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Obra 1094 - Rede Globo | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| argila organica silto- arenosa | | | | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| | | 75 | | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 2 | 4 | 40 | | 42 |
| 2 | 2 | 4 | 113 | | 120 |
| 3 | 2 | 4 | 96 | | 102 |
| 4 | 4 | 4 | 138 | | 146 |
| 5 | 4 | 4 | 134 | | 142 |
| 6 | 4 | 4 | 128 | | 136 |

Tabela A1. 69 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOLOTRAT, 2011).

| | | | | | |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Obra 1158 - Auto pista BR 101 | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| | | | | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| | | 100 | | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 2 | 3 | 148 | | 157 |
| 2 | 2 | 3 | 144 | | 153 |
| 3 | 2 | 3 | 123 | | 131 |
| 4 | 2 | 3 | | | - |
| 5 | 2 | 3 | 201 | | 214 |
| 6 | 2 | 3 | 111 | | 118 |

Tabela A1. 70 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOLOTRAT, 2011).

| | | | | | |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Obra 1131 - alfr pujol (São Paulo) | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| areia fina argilosa | | | | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| | | 75 | | | cota 113 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 3 | 2 | 35 | | 74 |
| 2 | 3 | 2 | 70 | | 149 |

Tabela A1. 71 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOLOTRAT, 2011).

| | | | | | |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Obra 1131 - alfr pujol (São Paulo) | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| argila siltosa | | | | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| | | 75 | | | cota 110 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 3 | 3 | 2 | 50 | | 106 |
| 4 | 3 | 2 | 40 | | 85 |
| 5 | 3 | 2 | 35 | | 74 |

Tabela A1. 72 - Resultados dos ensaios de arrancamento (SOLOTRAT, 2011).

| | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Obra 1192 - Gold Farb | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| argila silto- arenosa mole | | | | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| | | 75 | | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | 4 | 4 | 134 | | 142 |
| 2 | 4 | 4 | 113 | | 120 |
| 2a | 4 | 4 | 126 | | 134 |
| 3 | 4 | 7 | 163 | | 99 |
| 4 | 4 | 7 | 145 | | 88 |
| 5 | 4 | 7 | 177 | | 107 |
| SD1* | 4 | 7 | 180 | | 109 |
| SD2* | 4 | 7 | 180 | | 109 |
| 4a | 4 | 10 | 207 | | 88 |
| 5a | 4 | 10 | 189 | | 80 |
| 6 | 4 | 10 | 198 | | 84 |
| * ensaio de compressão | | | | | |

Tabela A1. 73 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MRS LOGÍSTICA, 2017).

| | | | | | |
|--|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Minas Gerais (km 511+600), 13 km de Belo Vale | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual de gnaiss - areno- argiloso | | | | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 32 | 75 | | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| AR-01 | - | 4 | 81 | 83,8 | 86 |
| AR-02 | - | 4 | 64 | 67,3 | 68 |
| AR-03 | - | 4 | 208 | 107,6 | 221 |
| AR-04 | - | 4 | 232 | 59,3 | 246 |
| AR-05 | - | 4 | 203 | 47,9 | 215 |
| AR-06 | - | 4 | 168 | 143,8 | 178 |
| AR-07 | - | 4 | 58 | 75,2 | 62 |
| AR-08 | - | 4 | 75 | 52,5 | 80 |

Tabela A1. 74 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MRS LOGÍSTICA, 2017).

| | | | | | |
|--|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Valença (km 130) - RJ | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual de gnaiss - areno- argiloso | | | | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | ϕ aço (mm) | ϕ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 75 | | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | - | 4 | 81,7 | 96,3 | 87 |
| 2 | - | 4 | 217,9 | 155,3 | 231 |
| 3 | - | 4 | 109 | 136,15 | 116 |

Tabela A1. 75 - Resultados dos ensaios de arrancamento (MRS LOGÍSTICA, 2017).

| | | | | | |
|------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Paulo de Frontin (km 082) - 7km de Paracambi | | | | |
| Tipo de reforço | | Grampo | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| argilosos? | | | | | |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 25 | 75 | | | |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1 | - | 3,8 | 180,2 | 14,9 | 201 |
| 2 | - | 3,8 | 180,2 | 24 | 201 |

Tabela A1. 76 - Resultados dos ensaios de arrancamento (NUNES, 2017).

| | | | | | |
|---|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Local | Ilha de Bom Jesus, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro | | | | |
| Tipo de reforço | | Chumbador | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| maciço rochoso gnáissico sã | 26 | 32 | 150 | - | 60 |
| rocha alterada | 22 | 28 | 20 | | 45 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | φ aço (mm) | φ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| CA-50 | 32 | 50 | 10 | 1 | Ens. 1: 5 |
| | | | | | Ens. 2: 12 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| ar comprimido (lavagem com água) | cerca de 20% da carga esperada | | não | não | |
| | | | | | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | qs (kPa) |
| 1* | 2 | 2,8 | 220 | 36 | 500 |
| 2** | 2 | 2,8 | 250 | 39 | 568 |
| * ensaio em rocha sã ou pouco alterada | | | | | |
| ** ensaio em rocha alterada/solo | | | | | |

Tabela A1. 77 - Resultados dos ensaios de arrancamento (NUNES, 2017).

| | | | | | |
|--|--|--------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|
| Local | Morro da Joatinga, RJ | | | | |
| Tipo de reforço | | Tirante | | | |
| Solo | | | | | |
| Tipo | Peso Esp. (kN/m³) | Ângulo de atrito (°) | Coesão (kPa) | Nível d'água | NSPT |
| solo residual de areia micácea* | 20 | 25 | 10 | - | altos, cerca de 40 ou 50 |
| Grampo | | | | | |
| Aço | ϕ aço (mm) | ϕ furo (mm) | Inclinação (°) | L livre (m) | Profundidade (m) |
| PX 40 | 38,1 | 100 | 15 | entre 4 e 6 | cerca de 20 |
| Ensaio de arrancamento | | | | | |
| Método Perfuração | Incremento carga | | célula de carga | Aquisição de dados | |
| ar comprimido | F ₀ e 0,3 Ft; 0,6 Ft; 0,8 Ft; 1,0 Ft; 1,2 Ft; 1,4 Ft; 1,6 Ft; e 1,75 Ft | | não | Não | |
| Resultados | | | | | |
| Nome do reforço | Nº de injeções | Comprimento injetado (m) | Carga de ruptura (kN) | Deslocamento (mm) | q _s (kPa) |
| 1 | - | 7 | 490 | 24 | 222,9 |
| 2 | - | 7 | 210 | 9 | 95,5 |
| 3 | - | 7 | 560 | 46 | 254,8 |
| 4 | - | 7 | 280 | 14 | 127,4 |
| 5 | - | 7 | 350 | 19 | 159,2 |
| 6 | - | 7 | 490 | 33 | 222,9 |
| 7 | - | 7 | 490 | 17 | 222,9 |
| 8 | - | 7 | 420 | 45,8 | 191,1 |
| 9 | - | 7 | 105 | 7,7 | 47,8 |
| 10 | - | 7 | 280 | 10,5 | 127,4 |
| 11 | - | 7 | 210 | 4 | 95,5 |
| 12 | - | 7 | 420 | 38,6 | 191,1 |
| 13 | - | 7 | 68,3 | 0 | 31,1 |
| 14 | - | 7 | 280 | 16,4 | 127,4 |
| 15 | - | 7 | 420 | 46,1 | 191,1 |
| 16 | - | 7 | 420 | 29,5 | 191,1 |
| * Presença de sedimentos coluvionares (silte argiloso) localizados | | | | | |

ANEXO II: Estimativa de N_{SPT}

Alguns autores não informaram o N_{SPT} do solo submetido ao ensaio de arrancamento. De forma a possibilitar o uso desses ensaios nos gráficos desse trabalho, foi feita uma análise das informações disponibilizadas de forma a estimar o valor de N_{SPT} . Destaca-se que, quando se tratava de material rochoso, adotou-se N_{SPT} equivalente a 60. No caso de solo, adotou-se N_{SPT} de acordo com a classificação do solo e o respectivo local. Sendo assim, foram adotados os valores indicados na Tabela A2.1.

Tabela A2. 1: Valores de N_{SPT} adotados nesse trabalho, com base em informações disponibilizadas pelos autores.

| Número da Tabela | Autor | N_{SPT} adotado |
|------------------|-------------------------------|-------------------|
| A1.13 | PINTO et al. (2001) | 15 |
| A1.14 | AZAMBUJA et al. (2001) | 10 |
| A1.20 | SOARES et al. (2003) | 15 |
| A1.22 | ALONSO et al. (2003) | 5 |
| A1.33 | SPRINGER (2006) | 15 |
| A1.34 | FRANÇA (2007) | 15 |
| A1.35 | LEITE (2007) | 20 |
| A1.41 | PACHECO SILVA (2009) | 10 |
| A1.42 | MIRANDA (2009) | 15 |
| A1.47 | CERQUEIRA SILVA (2010) | 60 |
| A1.64 | GOBBI et al. (2016) | 15 |
| A1.65 | CERQUEIRA SILVA et al. (2016) | 15 |
| A1.70 | SOLOTRAT (2011) | 15 |
| A1.71 | SOLOTRAT (2011) | 20 |
| A1.72 a A1.75 | SOLOTRAT (2011) | 10 |
| A1.76 e A1.77 | SOLOTRAT (2011) | 15 |

ANEXO III: Análise das Metodologias de Obtenção das Correlações

Devido à importância da proposta de uma correlação de q_s , foram analisadas metodologias de obtenção de correlações considerando solos arenosos com 1 injeção, solos arenosos com 2 ou mais injeções, solos argilosos com 1 injeção e solos argilosos com 2 ou mais injeções. Esses grupos possuíam 118, 122, 111 e 121 ensaios, respectivamente. Como o objetivo desses grupos é definir correlações, é necessário estabelecer uma curva específica $q_s \times N_{SPT}$.

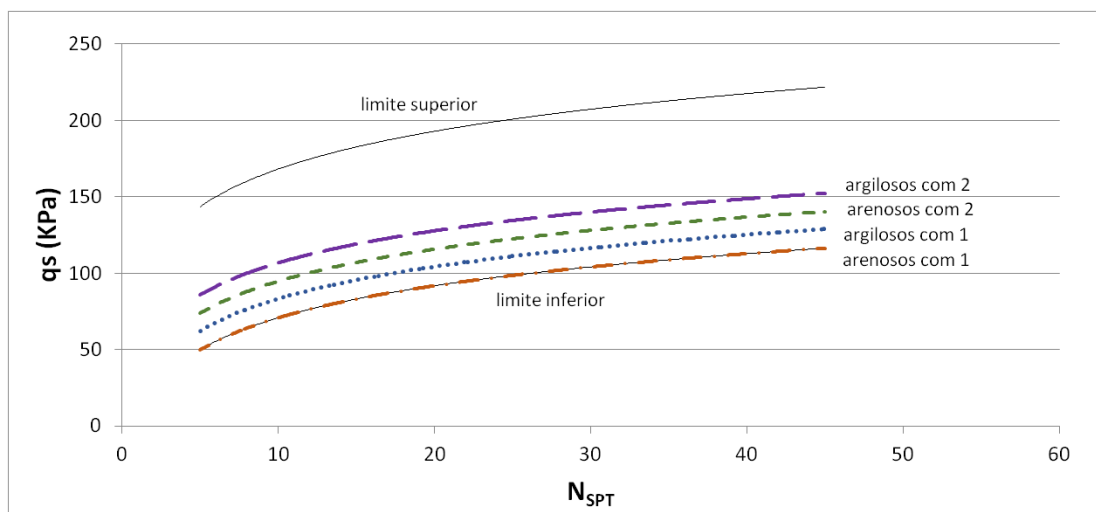
Foram analisadas as seguintes possibilidades:

- a) Definir a curva $q_s \times N_{SPT}$ que representa o limite inferior dos dados, considerando que 80% dos dados se situam acima dela, a partir do deslocamento da curva de limite inferior de todos os dados de ensaios de arrancamento (Figura A3.1). Essa curva foi traçada da seguinte forma: adotou-se o limite inferior e ajustou-se a curva (alterando o coeficiente linear) de forma que 20% dos dados de cada grupo estivessem abaixo da curva.
- b) Traçar a curva média, definida como a curva onde 55% dos dados estariam acima dela (Figura A3.2)

Essa curva foi traçada da seguinte forma: foram adotadas duas curvas limites (inferior e superior) em função dos dados existentes. A curva média foi ajustada de forma que todas ficassem com a mesma percentagem dos dados acima dela (coincidiu em 55%).

- c) Traçar a curva média, definida como o melhor ajuste dos pontos até N_{SPT} igual a 30 (Figura A3.3).

Essa curva foi traçada com os resultados de ensaios com valores de N_{SPT} inferiores ou iguais a 30. Este limite foi escolhido em função da reduzida quantidade de ensaios com N_{SPT} associados maiores que 30 e da maior dispersão entre eles. Desta forma, definiu-se a curva com melhor ajuste dos resultados de ensaios com os erros associados aos parâmetros. A percentagem de dados situados abaixo dessa curva é inferior a 30%.



LEGENDA

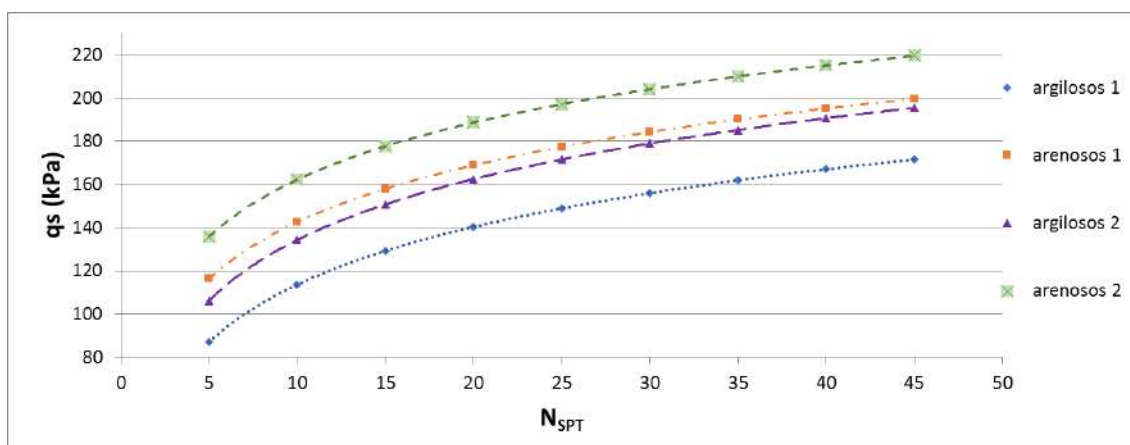
Arenosos com 1: grupo de solos arenosos com 1 injeção

Arenosos com 2: grupo de solos arenosos com 2 ou mais injeções

Argilosos com 1: grupo de solos argilosos com 1 injeção

Argilosos com 2: grupo de solos argilosos com 2 ou mais injeções

Figura A3. 1 – Correlações definidas com limites inferiores dos grupos considerando 80% de dados.



LEGENDA

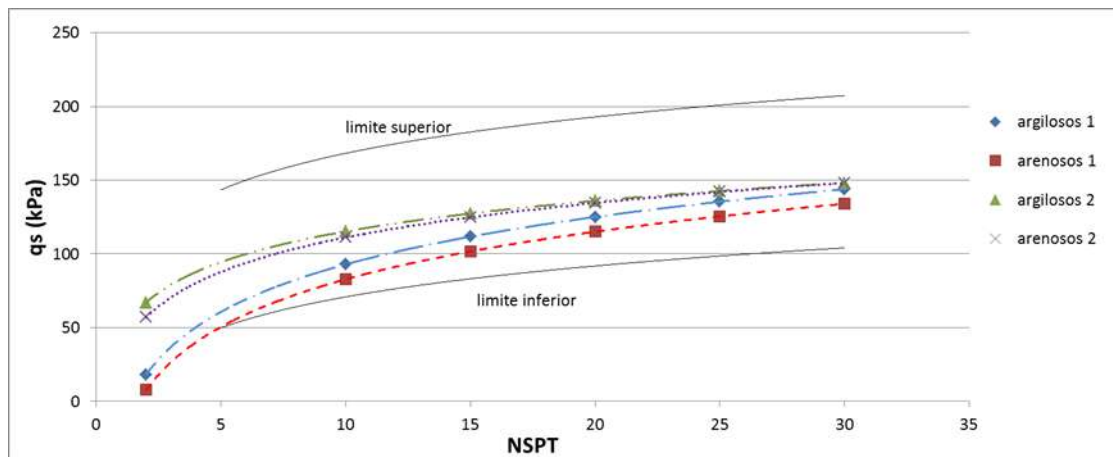
Arenosos 1: grupo de solos arenosos com 1 injeção

Arenosos 2: grupo de solos arenosos com 2 ou mais injeções

Argilosos 1: grupo de solos argilosos com 1 injeção

Argilosos 2: grupo de solos argilosos com 2 ou mais injeções

Figura A3. 2 – Correlações definidas com curvas médias dos dados de cada grupo considerando que 55% dos dados.



LEGENDA

Arenosos 1: grupo de solos arenosos com 1 injeção

Arenosos 2: grupo de solos arenosos com 2 ou mais injeções

Argilosos 1: grupo de solos argilosos com 1 injeção

Argilosos 2: grupo de solos argilosos com 2 ou mais injeções

Figura A3. 3 – Correlações definidas com curvas médias considerando o melhor ajuste dos pontos até $NSPT$ igual a 30.

Pode-se concluir com base nas Figuras A3.1 a A3.3 que:

- As análises por curvas médias nas Figuras A3.2 e A3.3 apresentam resultados diferentes. Pela Figura A3.2 conclui-se que a injeção influencia igualmente todos os conjuntos de dados, enquanto na Figura A3.3 os resultados com reinjeção são semelhantes, independente do solo. No caso da Figura A3.2, os solos argilosos possuem resistência ao arrancamento menor que os solos arenosos e os solos com 1 injeção possuem resistência menor que os solos com 2 ou mais injeções. Já nas correlações da Figura A3.3 solos arenosos possuem resistência ao arrancamento menor que os solos argilosos.
- No caso das curvas com limites inferiores (Figura A3.1), o comportamento é semelhante ao observado nas correlações com curva média (Figura A3.3). Os solos arenosos possuem resistência ao arrancamento menor que os solos argilosos e os solos com 1 injeção possuem resistência menor que os solos com 2 ou mais injeções.
- As curvas de limites inferiores dos solos com 2 ou mais injeções se situaram próximas da média entre os limites gerais adotados.

- d) A curva média que representa os solos arenosos com 2 ou mais injeções na Figura A3.2 é quase coincidente com o limite superior geral adotado.
- e) A curva média dos solos com 2 ou mais injeções na Figura A3.3 se aproximou da média entre os limites gerais adotados.
- f) As conclusões oriundas das curvas médias são baseadas na metodologia adotada para o cálculo dessa média. A metodologia adotada na Figura A3.3 foi baseada em adequar a melhor curva a um conjunto de dados, enquanto que a da Figura A3.2 considerou a porcentagem de dados acima da curva.
- g) As correlações baseadas no limite inferior resultam em erro de 20%, ou seja, 80% dos dados se situam acima dessas correlações.
- h) As correlações baseadas nas curvas médias da Figura A3.2 resultam em erro de 45%, pois 55% dos dados se situam acima delas.
- i) As correlações baseadas nas curvas médias da Figura A3.3 resultam em erro de menos de 30%. Elas não foram definidas considerando este erro, como as outras, mas “coincidentemente” os erros se situaram em torno de 27 a 28%. Ou seja, essas correlações representam um ajuste estatístico dos dados e apresentam um erro aceitável (menos que 30%).

Considerando essas observações e as metodologias adotadas, conclui-se que as correlações definidas na Figura A3.3 representam a melhor proposta para estimativa de resistência ao arrancamento em função do N_{SPT} dos tipos de solos arenosos e argilosos com grampos executados com bainha ou bainha e reinjeção.